TD
196
.A21
M66

EL36003595

Service Canadien de la Faune

Effets du traitement des arbres ornementaux au diazinon (BASUDIN) et à l'acéphate (ORTHÈNE) sur le Merle d'Amérique *(Turdus migratorius)* en milieu urbain

Rapport final

ENVIRONNEMENT CANADA
BIBLIOTHÈQUE
RÉGION DE QUÉBEC

G.R.E.B.E. inc.
1134, rue Sainte-Catherine Ouest, Montréal, Québec H3B 1H4
(514) 871-9221 Télécopieur: (514) 397-9750

Avril 1990

1059-110

Référence à citer:

Morneau, F., R. Décarie et J.L. DesGranges. 1990. Effets du traitement des arbres ornementaux au diazinon (BASUDIN) et à l'acéphate (ORTHENE) sur le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) en milieu urbain. GREBE Inc. pour Environnement Canada. Rapport technique. Service canadien de la faune, Région du Québec. 42 pp + annexe.

Ministère des Approvisionnements et Services Canada
No. cat.
ISBN

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Direction:		
	G.R.E.B.E.	M. Robert Décarie M. François Morneau
	S.C.F.	M. Jean-Luc DesGranges
Rédaction:		M. François Morneau M. Robert Décarie
Analyses Statistiques:		M. François Morneau Mme Lorraine Savoie Mme Claire Lépine
Terrain:		M. François Morneau Mme Claire Lépine Mme Lorraine Savoie M. Alain Lanoue M. Alain Morrier
Analyses de laboratoire: (S.C.F.)		Mme Suzanne Trudeau M. Sean Kennedy Mme Michèle Dignard Mme Anne Griffith
Consultation:		
	DPE, Mtl CNRF, Hull CNRF, Hull	Mme Francine Perron M. Sean Kennedy M. Pierre Mineau

REMERCIEMENTS

Cette étude a été menée grâce à la collaboration de nombreuses personnes. Nous désirons remercier d'abord le personnel de la compagnie Chemlawn en particulier le Dr Roger Yeary, vice-président des services de santé et sécurité, Colombus, Ohio; M. Don Gordon, directeur des services techniques, région du Québec et M. Jean-François Jutras, directeur des ventes et services, succursale rive nord.

Nous désirons aussi remercier M. Laird Shutt du collège McDonald et M. Sean Kennedy du laboratoire du Centre national de la recherche faunique (SCF-Hull) qui nous ont enseigné la technique des prélèvements sanguins sur les oiseaux de même que Mme Karen Lloyd et M. Pierre Mineau qui nous ont permis de consulter le service de documentation du groupe d'évaluation des pesticides du SCF à Hull et nous ont donné de leur temps.

Ce projet n'aurait pas été réalisé sans les contributions de la Direction de Protection de l'Environnement (Montréal) et du programme Pestfund d'Environnement Canada.

Finalement, il faut remercier tous les résidents de Laval qui nous ont donné accès à leur propriété.

RÉSUMÉ

Morneau, F., R. Décarie et J.L. DesGranges. 1989. Effets du traitement des arbres ornementaux au diazinon (BASUDIN) et à l'acéphate (ORTHENE) sur le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) en milieu urbain. GREBE Inc. pour Environnement Canada. Rapport technique, Service canadien de la faune, Région du Québec. 42 pp + annexe.

Les objectifs de l'étude sont de vérifier si l'acéphate (ORTHENE) et le diazinon (BASUDIN), deux insectides utilisés en milieu urbain pour la protection des arbres ornementaux, ont des effets létaux ou sublétaux sur l'avifaune. L'effet de ces produits est vérifié sur les comportements de nourrissage et de couvaison ainsi que sur la productivité du Merle d'Amérique (Turdus migratorius). Une centaine de nids de cette espèce ont été divisés en trois groupes, à savoir, un groupe témoin, un groupe traité à l'acéphate et finalement, un groupe traité au diazinon. Aucune mortalité d'adultes nicheurs n'a été constatée, chaque nichée ayant pu continuer son développement. Toutefois, l'analyse de l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) contenue dans le plasma sanguin révèle une inhibition significative de celle-ci chez les femelles exposées au diazinon ou à l'acéphate. Il n'y a pas de différence significative de productivité entre les groupes témoins et traités. Le nombre de voyages de nourrissage, le nombre de sacs fécaux disposés par les adultes et le temps consacré à la couvaison des oisillons par la femelle ne sont pas non plus affectés de façon significative. Cependant, la productivité et le nombre de voyage de nourrissage sont inférieurs dans le groupe traité au diazinon. On suggère que l'absence d'effets significatifs sur le comportement alors qu'il en existe un sur l'AChE du plasma sanguin pourrait être due (1) au fait que le produit n'ait pas atteint le cerveau 24 heures après l'arrosage (2) à la récupération rapide des femelles (3) aux faibles doses utilisées, et (4) au caractère très local et ponctuel du traitement alors que le merle s'alimente sur une grande surface qui dépasse largement l'espace très restreint occupé l'arbre où il niche. Il est possible, en ce qui concerne le diazinon, que l'effectif de l'échantillon ait été trop faible pour détecter un effet significatif sur le comportement de nourrissage et sur la productivité.

SUMMARY

Morneau, F., R. Décarie et J.L. Desgranges. 1989. Effects of the Spraying of Ornemental Trees with Diazinon (BASUDIN) and Acephate (ORTHENE) on the American Robin (Turdus migratorius) in an Urban Area. GREBE Inc. for Environment Canada. Technical Report, Canadian Wildlife Service, Quebec Region. 42 pp + appendix.

The objectives of this study are to establish if diazinon and acephate, two insecticides used in urban and suburban areas to protect ornemental trees, have lethal or sub-lethal effects on birds. The effects of these products are tested on feeding and brooding behaviours and on the productivity of the American Robin (Turdus migratorius). A hundred or so nests of this species were divided in three groups (control, treated with diazinon, treated with acephate). No mortality among adult birds was observed. However the AChE activity analysis in the blood samples shows a significant decline for females that were exposed to diazinon or acephate. Results show that there are no significant differences in productivity between the groups. Neither the number of feeding trips, the number of faecal bags dumped by the adults and the time spent brooding seemed affected significantly. However, productivity and the number of feeding trips were lower in the group treated with diazinon. We suggest that the absence of effects on the behaviour, although there was a decline of the AChE activity, could be due: (1) to the fact that the insecticide has not reached the brain 24 h after spraying; (2) to the fast recovery of the females; (3) to the low concentrations of both insecticides (4) to the very local applications of the pesticides while the Robin's feeding ground goes far beyond the area of its nest tree. In regards to the group sprayed with diazinon, it is possible that the sampling size was too small to detect a marked effect.

TABLE DES MATIERES

Equipe de réalisation i

Remerciements ii

Résumé iii

Summary iv

TABLE DES MATIERES v

LISTE DES TABLEAUX vii

1.0 INTRODUCTION 1

2.0 LES PRODUITS 2

2.1 Le diazinon (Basudin) 2
2.2 L'acéphate (Orthène) 4
2.3 Le dicofol (Kelthane) et le benomyl (Benlate) 5

3.0 OBJECTIFS 6

4.0 MÉTHODOLOGIE 6

4.1 Aire d'étude 6
4.2 Matériel biologique 6
4.3 Choix de l'approche 7
4.4 Choix des variables 7
4.5 Dispositifs de mesure 9
4.6 Échantillonnage et attribution des nids dans les trois groupes 13
4.7 Analyses statistiques 14

5.0 RÉSULTATS 16

5.1 Généralités 16
5.1.1 Résultats de la campagne de terrain 16
5.1.2 Caractéristiques du site de nidification 18
5.1.3 Observation des oiseaux durant l'arrosage . . . 19

5.2 Effet sur les adultes 19

5.3 Mesure de l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) . 20

5.4 Effets des traitements sur la productivité et le succès de reproduction 22

5.4.1 Caractéristiques de la ponte 22
5.4.2 Caractéristiques de la productivité 22
5.4.3 Caractéristiques du succès de reproduction . . . 23
5.4.4 Comparaison de la productivité entre les groupes traités et le groupe témoin 23
5.4.5 Comparaison de la prédation et de l'abandon des nids entre les groupes traités et le groupe témoin 24

5.5 Effets des traitements sur le comportement 24

5.5.1 Effet de l'heure sur les résultats des observations 24
5.5.2 Relations entre les comportements, les conditions d'observation et autres facteurs . . 25
5.5.3 Variables explicatives des comportements 26
5.5.4 Comparaison des comportements entre les nids traités et témoins. 28

5.6 Synthèse des résultats 32

6.0 DISCUSSION 33
6.1 Le diazinon 33
6.2 L'acéphate 35

7.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 37

8.0 BIBLIOGRAPHIE 38

ANNEXE

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Concentrations et quantités épandues des divers pesticides utilisés par la compagnie Chemlawn lors de l'étude. 13

Tableau 2 Description des variables utilisées dans les corrélations et les régressions multiples. 15

Tableau 3 Effectifs des nids de Merle d'Amérique pouvant servir au calcul de la productivité pour chacun des traitements et nombre de périodes d'observation effectuées durant chaque stade de développement et pour chaque traitement. 17

Tableau 4 Résultats des analyses de l'activité de l'acétylcholinestérase dans le plasma sanguin et les cerveaux en fonction de l'exposition des femelles et de l'âge des jeunes au moment de l'arrosage. 20

Tableau 5 Résultats d'un modèle de régression multiple entre le nombre de voyage de nourrissage et différentes variables significatives. 26

Tableau 6 Résultats d'un modèle de régression multiple entre la durée de couvaison des oisillons et différentes variables significatives.. 27

Tableau 7 Résultats d'un modèle de régression multiple entre le nombre de sacs fécaux disposés et certaines variables significatives. 27

Tableau 8 Résultats d'un modèle de régression multiple entre le nombre de sacs fécaux disposés et certaines variables significatives mais en omettant le nombre de voyages de nourrissage. 28

Tableau 9 Résultats des comparaisons du nombre de voyages de nourrissage entre les traitements selon les catégories d'âge (analyses factorielles de variance, traitements X nombre de jeunes). 29

Tableau 10 Résultats des comparaisons de la durée de couvaison des oisillons entre les traitements selon les catégories d'âge (analyses factorielles de variance, traitements X nombre de jeunes). 29

Tableau 11 Résultats des comparaisons du nombre de sacs fécaux disposés par les deux adultes par période de deux heures entre les traitements selon les catégories d'âge (analyses factorielles de variance, traitements X nombre de jeunes). 29

Tableau 12 Résultats de l'analyse de covariance entre la durée de couvaison en minutes par période de deux heures et l'âge et la température en fonction des traitements. . 30

Tableau 13 Résultats de la comparaison de la durée de couvaison des oisillons par période de deux heures entre les groupes pris deux à deux (Analyse de covariance). . . 31

Tableau 14 Résultats de la comparaison du nombre de sacs fécaux disposés par période de deux heures entre les groupes traités 31

Tableau 15 Synthèse des résultats des effets du diazinon et de l'acéphate sur les différentes variables étudiées . . 32

1.0 INTRODUCTION

L'usage du diazinon sur les terrains de golf et sur les gazonnières a été banni par l'Environmental Protection Agency aux États-Unis, notamment à cause de sa grande toxicité pour l'avifaune. Stone et Gradoni (1985, 1985a, 1987), Anderson et Glowa (1985) et Schobert (19??), entre autres, font état de mortalité d'oiseaux sur d'autres types de pelouses, dont des terrains résidentiels.

Environnement Canada désirait vérifier l'impact de cet insecticide sur l'avifaune en fonction des pratiques d'épandage courantes en milieu urbain. L'une de celles-ci est l'usage du diazinon pour la protection des arbres fruitiers, généralement décoratifs, contre les pucerons. L'acéphate étant appliqué durant la même période sur les arbres ornementaux, en particulier les conifères, nous avons aussi voulu mesurer ses impacts sur l'avifaune. La présente étude vise à vérifier si ces deux produits, utilisés pour le traitement des arbres ornementaux, ont des effets létaux ou sublétaux sur l'avifaune en milieu urbain. Les arrosages de pelouses ayant lieu à partir de la fin juillet, à un moment où la plupart des oisillons ont quitté les nids, nous avons dû restreindre la portée de notre étude aux seules pratiques ayant cours en pleine période de nidification. L'évaluation des effets des arrosages de pelouses sur les oiseaux exigeant une approche méthodologique complètement différente, nous avons préféré la réserver pour une étude ultérieure.

Les évaluations d'impacts de produits toxiques en milieu naturel sont complexes car une foule de paramètres peuvent venir masquer un effet ou au contraire donner l'illusion d'un effet. De plus, il a fallu faire face à des contraintes particulières, inhérentes à une étude de terrain en milieu résidentiel. Aussi, avons-nous procédé de façon rigoureuse, notamment lors de l'analyse des données de façon à dégager le plus possible les facteurs pouvant interférer sur l'évaluation des impacts des traitements.

2.0 LES PRODUITS

2.1 Le diazinon (Basudin)

Introduit au début des années cinquante, le diazinon (acide phosphorothioique 0,0-diéthyl 0-6-méthyl-2-(1-méthyléthyl)-4-pyrimidinyl ester) est un insecticide organophosphoré utilisé de façon extensive à des fins commerciales, agricoles ou par de simples citoyens sous plusieurs formulations: granulaire, en poudre, en concentré émulsifiable ou soluble, liquide, en aérosol, en solution huileuse, etc.. Il est utilisé pour combattre de nombreux insectes dont les suivants: mouches, blattes, poux des ovins, diverses pestes des plantes ornementales et des cultures (surtout maïs, oignons, patate douce, fourrage (alfafa), riz), insectes du sol (Cossette et al. 1988). Il possède une trentaine d'appellations commerciales (Basudin 500 e.c. pour la présente étude).

Certaines formulations peuvent contenir du Sulfotep (Tétraéthyl dithiopyrophosphate) (0,2 à 0,7% du volume) comme impureté de fabrication. Ce produit est 100 fois plus toxique que le diazinon (Eisler 1986).

Comportement dans l'environnement:

Le diazinon est relativement peu soluble dans l'eau (40 ppm) mais l'est dans la plupart des solvants organiques. Il est stable en milieu alcalin, mais s'hydrolyse dans l'eau et dans les acides dilués (Cossette et al. 1988). La principale réaction de dégradation du diazinon est l'hydrolyse de l'ester thio-phosphoré résultant en pyrimidinol qui n'a pas d'action inhibitrice de l'acétylcholinestérase (AChE). L'hydroxylation de ce composé produit de l'hydroxi-pyrimidinol qui sera dégradé en dioxide de carbone. Une hydroxylation peut se faire avant la rupture du lien ester produisant alors du hydroxy-diazinon qui sera transformé en hydroxi-pyrimidinol. Il peut aussi se produire une oxydation qui génère un métabolite toxique, le diazoxon qui sera par la suite hydrolysé (Bartsch 1974).

Le diazinon se dégrade rapidement sur les plantes (demie-vie de 7 jours sur la pelouse), mais peut persister plus longtemps si la température est basse. Zinkl et al. (1977) font état de mortalité de Bernaches du Canada 3 mois après une application de diazinon. Dans les sols, il a une demie-vie de 2 à 4 semaines et se retrouve rarement à une profondeur de plus de 1,3 cm. Il peut persister plus de six mois si la température et l'humidité sont basses, l'alcalinité élevée et s'il y a peu de micro-organismes décomposeurs. Sa persistance dans l'eau est brève (30 jours) et est influencée par le pH (Bartsch 1974, Eisler 1986).

Toxicité:

Comme les autres organophosphorés, l'action du diazinon sur les organismes vivants est de réduire l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) au niveau du cerveau et du sang. L'accumulation d'acétylcholine dans les tissus nerveux et dans les organes effecteurs accentue ses actions muscarinique (bronchoconstriction et sécrétions bronchiques), nicotinique (paralysie du muscle respiratoire) et au niveau du système nerveux central, (dépression et paralysie du centre respiratoire) (Murphy, 1986). Chez les oiseaux, une inhibition de l'AChE de 80 %, causée par une seule dose orale d'insecticide organophosphoré, provoque la mort. Une inhibition de 50 % de l'AChE suffit si l'exposition est continuelle (Zinkl et al. 1977 et 1979 in Peakall et Bart 1983; voir aussi Zinkl et al. 1981 et 1984).

Le diazinon n'est pas un puissant inhibiteur de l'acétylcholinestérase mais ses sous-produits, transformés in-vivo en analogues oxigénés, le sont. C'est le cas notamment des diazoxons qui sont des inhibiteurs d'AChE 10 000 fois plus efficaces que le diazinon.

La toxicité du diazinon dépend de la rapidité de la transformation inon en oxon et de la destruction des diazoxons en sous-produits. Après une exposition, il peut y avoir une période latente qui varie selon la voie d'accès (Kundiev et al. 1982). Cette phase correspond au temps nécessaire à la transformation du diazinon en diazoxon et à la translocation de ces substances aux sites d'action. L'action toxique devient de plus en plus forte avec, selon la dose, une période de récupération (Montz et Kirkpatrick 1985). Les oiseaux sont plus sensibles que les mammifères au diazinon car leur sang a une faible activité hydrolytique nécessaire pour dégrader les diazoxons. L'Environmental Protection Agency (EPA) considère le diazinon comme très toxique pour l'avifaune (Anon. 1986 et 1986a). Eisler (1986) donne des DL_{50} orales (mg/kg de poids corporel) pour plusieurs espèces de mammifères et d'oiseaux: Agelaius phoeniceus (2,6); Meleagris gallopavo (2,5-10); Anas platyrhynchos (2,4-5,3); Colinus virginianus (5,0); poulets, Gallus gallus (5,0-9,0); Sturnus vulgaris (213); Rattus rattus (224-735); Canis familiaris (>500).

Un insecticide organophosphoré peut entrainer une intoxication qui peut se faire par inhalation, ingestion ou contact dermique (Kundiev et al. 1982).

Les incidents d'exposition de l'avifaune en milieu naturel par ingestion d'aliments et autres particules contaminés ou par ingestion de granules d'insecticide, sont nombreux (Stone et Knoch, 1982; Anderson et Glowa, 1985; Stone, 1979; Stone 1980; Schobert 19??; Stone et Gradoni 1985, 1985a, 1987; Anon. 1986a; voir aussi l'annexe 1). Certains de ces auteurs en font même une revue. Les DL50 orales indiquent que 15 mg de diazinon par kg de poids corporel est fatal pour presque toutes les espèces étudiées et que 2-5 mg/kg serait létal pour les espèces les plus sensibles. Pour l'avifaune, cette voie

d'absorption est la plus susceptible de provoquer l'empoisonnement ou certains effets sublétaux.

A première vue, le diazinon ne semble pas tellement volatile et ce d'autant plus s'il se trouve sur un substrat organique ou sur le sol. Lichtenstein et Schulz 1970 ont démontré qu'il n'y a qu'entre 0,1% et 1,93% de l'insecticide qui se soit évaporé en 24 hrs selon le type de substrat.

Pour ce qui est du contact dermique, Hoffman et Eastin (1981) (in Eisler, 1986) ont immergé des oeufs de Canard colvert (Anas platyrhynchos) pendant 30 secondes dans des solutions de diazinon. Cinquante pour cent des embryons de canard étaient tués lorsque la concentration des solutions excédait de 25 à 34 fois la concentration recommandée pour les applications en nature. Lorsqu'on dépassait de 5 à 6 fois la concentration recommandée, il pouvait survenir de 3 à 7 % de mortalité d'embryons. Des poulets ont été immergés dans des solutions contenant 1000 ppm de diazinon, soit une concentration qui excède de plusieurs centaines de fois la concentration utilisée par les applicateurs. En moins de 3 jours, il y eut 60% de mortalité, puis aucun autre cas de mortalité dans les 4 mois suivants (Sokkar et al. 1975, in Eisler, 1986). Dougherty (1962) rapporte un incident grave impliquant des canetons d'élevage mais la cause exacte de mortalité n'est pas claire. Stone et Knoch (1982) supposent que l'exposition de plusieurs Bernaches cravant a pu se faire par contact tégumentaire lorsque ces dernières auraient marché dans des flaques d'eau contaminées. Brunet et Cyr (1990) ont observé que lorsque des merles sont placés dans des volières sur une pelouse fraîchement traitée au chlorpyrifos, les taux d'intoxication et de mortalité sont très élevés.

2.2 L'acéphate (Orthène)

D'introduction plus récente, l'acéphate ou Orthène (acide acétylphosphoramidothioique, O, S-diméthyl) est aussi un insecticide organophosphoré. Il est utilisé pour controler les infestations d'insectes défoliateurs des forêts et les insectes nuisibles des pelouses et jardins. Dans le cas de la présente étude, il était utilisé pour protéger les arbres ornementaux.

Comportement dans l'environnement:

L'estimation de la demie-vie de l'acéphate varie selon les auteurs. Sundaram et Hopewell (1976) fixent celle-ci à 24 heures sur les aiguilles d'épinettes. Assez rapidement, il n'y a plus de trace de produit décelable sur les aiguilles. Szeto et al. (1978) la fixent entre 3 et 6 jours. Selon ces derniers, l'exposition au soleil semble avoir une très grande importance dans la dégradation du produit (effet accélérateur). Bart (1979) parle d'une durée de demie-vie de 5 à 10 jours sur les plantes et dans l'eau. Chukwudebe et al. (1984)

indiquent que dans l'eau, il y dégradation en deux phases. La première, correspondant à la durée de demie-vie, est très rapide et dépend du pH. Lors de la seconde phase, l'acéphate devient plus stable et peut persister plus longtemps.

Sur les plantes, environ 90-95% de l'acéphate est dégradé en sels non toxiques et de 5 à 10% est transformé en métamidophos (acide phosphoramidothioique, O, S-diméthyl) (Bart 1979).

Toxicité:

In vitro, l'acéphate est un faible inhibiteur de l'AChE. In vivo, sa toxicité serait due à sa propre activité anticholinestérase, conjuguée à celle de son métabolite, le métamidophos. Ce dernier serait de 2 à 14 fois plus efficace comme inhibiteur de l'AChE que l'acéphate (Chukwudebe et al. 1984; Hussain et al. 1985; Zinkl et al. 1981). Voici des DL_{50} de l'acéphate pour certaines espèces d'oiseaux et de mammifères suivies de la référence: souris: 361 mg/kg (Spencer 1982 in Chukwudebe et al. 1984); Rattus rattus: 866-945 mg/kg (Forsyth 1977); Junco hyemalis: 106 mg/kg (Zinkl et al. 1981); Anas platyrhynchos: 350 mg/kg (Peakall et Bart 1983).

A la lumière des résultats de leurs travaux, Zinkl et al. (1981, 1984) soupçonnent l'existence d'un autre métabolite qui serait encore plus toxique que le métamidophos. L'amplitude de la dépression de l'activité de l'AChE (cerveau) est trop grande pour qu'elle puisse uniquement être expliquée par la quantité d'acéphate à laquelle les oiseaux ont été exposés. Cette substance pourrait être un métabolite du métamidophos (acide diméthyl phosphoramidothioique, S-oxide).

2.3 Le dicofol (Kelthane) et le benomyl (Benlate)

Le dicofol (4,4'-dichloro-α-(trichlorométhyl) benzhydrol) est un acaricide pouvant être utilisé avec l'acéphate (une fois lors de cette étude). Il a une DL50 orale chez le rat plus faible que l'acéphate (575 vs 866) mais une DL50 dermique chez le lapin plus forte (4000 vs 2000). Le benomyl (méthyl-1-(butylcarbamoyl)-2-benzamidole carbamate) est un fongicide utilisé concurremment avec le diazinon. Chez le rat, il a une DL50 orale de beaucoup inférieure à celle du diazinon (9590 vs 300) (Ware 1983).

3.0 OBJECTIFS

Les objectifs de l'étude sont de vérifier si l'épandage du diazinon et de l'acéphate sur les arbres ornementaux en milieu urbain affectent l'avifaune. Plus particulièrement, il s'agit de déterminer s'il y a mortalité des oiseaux nicheurs et si la survie des oisillons jusqu'au moment de l'envol est réduite. Nous voulons également savoir si le comportement reproducteur des adultes, à savoir, le nourrissage des oisillons et la couvaison, présente des modifications suite aux traitements.

4.0 MÉTHODOLOGIE

4.1 Aire d'étude

Le secteur d'étude correspond aux quartiers Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul à Laval, province de Québec. Cette zone a été choisie en raison de l'âge des quartiers qui sont suffisamment vieux pour y retrouver des arbres d'une certaine taille, condition essentielle pour retrouver une avifaune diversifiée, et parce que la clientèle de la Compagnie Chemlawn, chargée de l'arrosage y est fort importante.

On retrouve dans ce secteur de la ville de Laval des maisons de type unifamilial et par endroits, des habitations à logements multiples. La majorité des terrains ont de 450 à 600 m² de superficie et seulement quelques-uns sont plus grands. L'Érable argenté (Acer saccharinum) est, parmi les feuillus, l'espèce la plus abondante. Une grande partie des arbres de cette espèce ont été plantés par la municipalité lors du développement domiciliaire et par conséquent, se retrouvent à l'avant des résidences, près de la rue. Les principales autres espèces de feuillus sont l'Érable à sucre (Acer saccharum), l'Érable de Norvège (Acer platanoides, le Tilleul d'Amérique (Tilia americana) et les bouleaux (Betula sp.). Parmi les conifères, qui sont moins abondants que les feuillus, on retrouve surtout l'Épinette bleue (Picea pungens) et quelques autres épinettes (Picea sp.), ainsi que le Thuya occidental (Thuja occidentalis). Les arbres fruitiers sont relativement communs, particulièrement les pommetiers décoratifs (Malus sp.).

4.2 Matériel biologique

Le matériel biologique, en l'occurence les espèces d'oiseaux pouvant faire l'objet de l'étude, s'avère limité par plusieurs contraintes et conditions. Ainsi, puisque les arbres ornementaux ne sont arrosés que jusqu'à 6 ou 7 m de hauteur (ChemLawn, comm. pers.),

la ou les espèces candidates doivent nicher ou s'alimenter principalement dans la zone traitée des arbres.

En outre, comme l'étude implique la mesure de certains comportements liés à la reproduction, l'observation des nids s'impose. Or, il s'avère plus facile d'observer et d'effectuer des mesures sur les nids ouverts. De plus, les espèces construisant ce genre de nid sont plus susceptibles d'être affectées par l'arrosage que les espèces nichant dans les cavités ou les nichoirs.

Un autre facteur d'importance qui doit être considéré est l'abondance des différentes espèces. En effet, la saison de nidification est plutôt brève et limite fortement le temps qui peut être consacré à la prise des données. En outre, la précision des résultats et la robustesse de la majorité des tests statistiques croissent en fonction de la taille n de l'échantillon (Scherrer 1984) qui dépend fortement de l'abondance de l'espèce.

Une bonne synchronisation est aussi nécessaire entre la période de nidification de l'espèce et la période d'arrosage, si l'on veut que l'étude corresponde à une situation réelle. La période d'arrosage de l'acéphate et du diazinon s'étend du milieu de mai environ jusqu'au début de juillet (ChemLawn, comm. pers.). Finalement, il est indispensable de pouvoir distinguer facilement les visites de nourrissage.

Parmi les espèces aviaires rencontrées en milieu urbain, le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) s'avère l'espèce idéale. Il répond à toutes les caractéristiques désirées. Aussi, les efforts d'observation ont portés essentiellement sur cette espèce.

4.3 Choix de l'approche

L'approche choisie est l'approche quasi-expérimentale (Scherrer 1984, voir aussi Hurlbert 1984). Cette approche permet, à l'instar de l'approche descriptive, d'inférer les résultats à la population statistique et donc à la population-cible qui correspond généralement à une situation réelle et ce contrairement à l'approche expérimentale, où le contrôle des facteurs empêchent cette inférence. Par ailleurs, elle permet, comme cette dernière approche, de mettre en évidence des relations de cause à effet, à condition de respecter certaines modalités tels l'entremêlement et une réplication adéquate (Hurlbert 1984).

4.4 Choix des variables

La survie des oisillons est représentée par la productivité des nids, c'est-à-dire, le nombre d'oisillons encore vivants au moment de l'envol et le succès de la reproduction. L'envol a lieu de 10 à 16 jours après l'éclosion (Howe 1898, Young 1955, Kemper et Taylor 1981,

McLean et. al. 1986). Pour éviter de perdre quelques données, la productivité a été mesurée lorsque les oisillons étaient âgés de 11 jours, car après cette période, certaines nichées peuvent déjà quitter leur nid, soit naturellement ou à la suite d'un dérangement.

Le succès de la reproduction est le rapport du nombre d'oisillons encore vivants au moment de l'envol (11 jours), sur le nombre d'oeufs pondus. L'importance de la ponte fut notée afin de permettre d'établir le succès de la reproduction.

La fréquence de nourrissage et la durée de couvaison sont les comportements de reproduction qui furent considérés. Le nourrissage fut quantifié par le nombre de becquées apportées par période de 2 heures. La couvaison correspondit à la durée en minutes de cette activité aussi par période de 2 heures. Enfin, le nombre de sacs fécaux disposés (total, par la femelle et par le mâle) fut également noté par période de deux heures, car il peut refléter l'état des oisillons. Notons, que grâce à ces trois paramètres, il est possible de vérifier l'effet des arrosages à la fois sur le mâle, la femelle et les oisillons.

Les conditions de l'environnement peuvent influencer le nourrissage et la couvaison. En effet, dans un modèle élaboré à partir de nombreuses données sur le Merle d'Amérique aux États-Unis, les meilleurs variables prédisant le début de la période d'élevage, étaient la température et l'humidité relative (James et Shugart 1974).

Ainsi, si un ou plusieurs facteurs agissent sur les comportements, ils peuvent masquer l'effet des traitements en les contrebalançant ou encore les surestimer. Par ailleurs, il s'avère impossible d'effectuer toutes les observations selon des conditions rigoureusement identiques. Par conséquent, il fallait donc vérifier l'effet des conditions de l'environnement sur les comportements. A cette fin, la température, le vent, la nébulosité et les précipitations furent mesurés, car il s'avèrent être les facteurs les plus variables et donc, les plus susceptibles d'affecter les activités comportementales du Merle d'Amérique. L'heure et le jour des périodes d'observation furent aussi notés.

En plus des conditions de l'environnement, il est possible que le nombre d'oisillons, leur âge et la date influencent le nombre de voyages de nourrissage, la durée de couvaison et le nombre de sacs fécaux disposés. Or, il s'avère difficile, voire impossible de contrôler ces facteurs, c'est-à-dire, de ne travailler qu'avec des nids contenant tous le même nombre d'oisillons du même âge. En outre, il est souhaitable de pouvoir généraliser les résultats aux oisillons de tous âges et à l'ensemble des nids du secteur d'étude. Aussi, les observations ont été effectuées sur des nids contenant des oisillons en nombre et âges variables et ces facteurs notés lors des périodes d'observations.

Certains facteurs peuvent aussi affecter la productivité et le succès de la reproduction. Il s'agit en autres de la nature et de la hauteur du support et du nid. Par exemple, McLean et al. (1986) ont observé une légère tendance entre la dissimulation des nids et le succès de reproduction. La mesure de ces variables, doit donc permettre de vérifier cette hypothèse. En plus, ils peuvent servir à décrire le site de nidification et établir la proportion approximative des nids qui pourrait être affectée par l'acéphate ou le diazinon. En effet, rappelons que le premier produit est utilisé principalement sur les conifères et les arbrisseaux et le second sur les arbres fruitiers. En outre, l'arrosage est généralement limité à environ 6 m de hauteur, à cause notamment des normes de sécurité.

4.5 Dispositifs de mesure

1) Recherche de nid

La recherche de nids a été effectuée selon deux méthodes. La première, plutôt active, a consisté en une recherche minutieuse des nids sur les propriétés des clients de la compagnie Chemlawn. Notons que les gens ont été sollicités auparavant pour obtenir leur collaboration à l'étude.

La seconde stratégie, plus opportuniste, consista à suivre (à pied ou en automobile) les merles qui affichent un comportement reproducteur (nourriture dans le bec, matériaux pour la construction du nid, transport de sac fécal, etc.).

La recherche des nids (par les deux méthodes) fut effectuée durant l'avant-midi et par groupe de deux personnes. La matinée est préférable étant donné la grande activité des oiseaux à cette période et aussi parce qu'il y a moins de risque de déranger les résidents. Chaque nid fut localisé le plus précisément possible au moyen d'un plan du site tracé dans un espace réservé à cette fin sur la fiche de terrain.

2) Mesure des conditions d'observations

Les paramètres suivants furent notés toutes les demi-heures durant chaque période d'observation: la température selon l'échelle Celsius, le vent selon l'échelle de Beaufort, la nébulosité et la durée des précipitations en minutes. Le thermomètre était placé à l'ombre. La nébulosité est exprimée en pourcentage. Lorsque le ciel est complètement couvert, le valeur est de 100 % et lorsqu'il y a absence de nuages, la valeur attribuée est de 0 %.

3) Mesures des comportements de reproduction et de nourrissage

Les comportements de couvaison et de nourrissage furent observés durant des périodes standardisées de deux heures. Ces périodes eurent lieu de 5:30 à 7:30 ou de 7:30 à 9:30 A.M. Le matin devrait être la période la plus propice à la fois pour le nombre de voyages de nourrissage et pour le temps consacré à la couvaison (Schantz 1939).

Avant chaque période, l'observateur laissait généralement s'écouler une période de 10 minutes avant le début des observations. Selon la disposition du nid et sa hauteur, les observations furent effectuées à partir d'une automobile ou sur une chaise de jardin. Le nid fut observé à une distance de 10 à 15 m ou parfois moins. Les observations furent effectuées par une seule personne à l'aide d'une paire de jumelle ou d'un télescope, en fonction de la distance et de la hauteur du nid.

A chaque période d'observation de deux heures on note:

- la date d'observation et l'heure du jour;
- les initiales de l'observateur(trice);
- l'adresse de la propriété où se trouve le nid;
- le groupe (diazinon, acéphate ou témoin);
- la date et l'heure du traitement s'il y a lieu. Elles permetttent de savoir si la période d'observation a eu lieu avant ou après l'arrosage;
- l'âge et le nombre d'oisillons ou le nombre d'oeufs présents au moment de l'observation;
- la date et l'heure des captures et des prélèvements sanguins lorsque pertinent;
- les mesures des quatre paramètres décrivant les conditions d'observation;
- l'heure du début et de la fin de chacun des nourrissages, de la couvaison et le nombre de sacs fécaux disposés. Pour chacun de ces comportements, le sexe de l'individu est aussi précisé.

4) Mesures de la productivité et de la ponte

Chaque nid a fait l'objet de plusieurs visites. Au moins une visite a eu lieu lorsque les oisillons étaient âgés de 11 jours. Toutefois, pour les nids traités, les visites se sont poursuivies jusqu'à l'envol des oisillons. A chaque visite, le contenu du nid a été vérifié à l'aide d'une perche télescopique utilisée pour ramasser les balles de golf, à l'extrémité de laquelle était fixé un mirroir. Dans certains cas, il fut nécessaire de grimper dans l'arbre pour le décompte des oisillons. Enfin, lorsque les jeunes étaient agés, il était possible d'effectuer le comptage lorsqu'ils levaient leur tête pour quémander la nourriture lors de l'arrivée d'un des adultes.

5) Mesures des variables décrivant le site

Les arbres portant les nids furent généralement identifiés à l'espèce. Les structures qui servent de supports furent aussi notées. La hauteur du support fut estimée au jugé. Notons que les observateurs (trices) ont préalablement effectué un calibrage sur des arbres dont la hauteur a été mesurée précisément. La hauteur des nids fut mesurée à l'aide des perches servant à vérifier leur contenu.

6) Captures/recaptures

Les captures furent effectuées dans le but d'obtenir un prélèvement sanguin qui sert à vérifier l'effet des deux insecticides sur l'activité de l'acétylcholinestérase. Il était prévu de capturer 15 individus différents (5 merles pour chacun des groupes). Chacun des merles devait être capturé à deux reprises, à 7 jours d'intervalle, le second prélèvement ayant lieu quelques 24 heures après l'arrosage. Ainsi, le nombre total de captures devait s'élever à 30. Chez le groupe témoin, les deux captures devaient permettre de vérifier la variabilité temporelle de l'inhibition de l'acétylcholinestérase et chez les groupes traités, l'inhibition avant et après le traitement.

Les oiseaux furent capturés à l'aide de filets japonais. Les captures eurent lieu la nuit, car les filets sont trop visibles durant le jour. La procédure est la suivante: deux filets sont attachés ensemble afin de doubler leur hauteur et sont placés à l'aide de perches télescopiques (servant à l'entretien des piscines) autour de l'arbre portant le nid. Le haut des filets est fixé délicatement aux branches de l'arbre. Après cette opération, les branches situées à l'arrière du nid sont agitées vigoureusement pour déloger l'oiseau du nid. Notons qu'il est peu probable de capturer le mâle car les séances de capture ont lieu au moment de la couvaison et seule la femelle couve (Klimstra et Stieglitz 1957, McLean et al. 1986). Chaque oiseau capturé fut bagué et fit l'objet d'un prélèvement sanguin, puis il fut ensuite relaché dans le bas d'un arbre ou d'un buisson.

Les prélèvements sanguins effectués en 1988 n'ayant pu être analysés avec succès, le sang étant hémolysé, de nouvelles captures ont été effectuées en 1989. Il était prévu de capturer 10 femelles, cinq pour chacun des groupes d'insecticide. Les merles n'ont été capturés qu'une seule fois, environ 12 heures après l'arrosage. Aucun merle n'était relâché, le prélèvement de cerveaux étant aussi prévu.

7) Prélèvements sanguins et de cerveaux

A chaque capture de merle, un prélèvement sanguin a été effectué sur l'oiseau afin de vérifier l'activité de l'acétylcholinestérase. Pour ce faire, l'oiseau est tenu sur le dos par une personne et l'une de ses ailes est ouverte et posée sur une surface plane. La portion proximale de l'aile est aspergée avec de l'alcool isopropylique. Puis,

les plumes sont dégagées et la veine alaire mise en évidence au niveau du coude. Une incision de la veine est ensuite effectuée à cet endroit à l'aide d'un "lancet". Le sang est prélevé à l'aide de trois micro-capillaires dont les parois internes sont enduites d'héparine. Le volume de sang recueilli est d'environ 65-100 µl.

Le sang contenu dans les micro-capillaires est rapidement déversé dans une éprouvette qui est identifiée puis, déposée sur la glace. Quelques heures après, le sang est centrifugé pour séparer le plasma des cellules sanguines, et remisé au congélateur en attendant l'analyse permettant la mesure de l'inhibition de l'acétylcholinestérase.

En ce qui concerne l'oiseau, une légère pression avec le doigt (préalablement désinfecté avec l'alcool) est faite autour de l'incision pour favoriser la coagulation. Il est ensuite relaché. Toute l'opération nécessite de deux à trois personnes.

La technique utilisée en 1989 pour effectuer les prélèvements fut différente de celle de 1988 afin d'éviter l'hémolyse du sang. En effet, une seule personne effectua les prélèvements à l'aide d'une seringue d'1/2 ml et d'une aiguille no 28 sur la veine jugulaire de l'oiseau préalablement dégagée en enlevant quelques plumes. Le sang fut ensuite transféré dans trois micro-capillaires dont les parois internes étaient enduites d'héparine. Ces micro-capillaires furent placés dans un tube, et le sang fut centrifugé et placé dans un congélateur à -70 degrés centigrades. Le transport jusqu'au laboratoire du Centre national de la recherche faunique (SCF-Hull) pouvant amener le sang à décongeler, ce qui est un facteur important d'hémolyse du sang, les tubes furent transférés dans des glacières étanches et recouverts de glace sèche pour éviter la décongélation. Dans le cas où les prélèvements sanguins se seraient révélés non-utilisables, les cerveaux des femelles capturées ont aussi été prélevés par une torsion rapide de la tête de l'oiseau.

8) Mesure de l'inhibition de l'acétylcholinestérase

La détermination de l'activité de l'AChE dans le sérum sanguin et les cerveaux a été faite au laboratoire du Centre national de la recherche faunique (SCF-Hull) selon la méthode de Ellman et al. (1961) modifiée par Hill et Fleming (1982). La méthode nécessite du plasma qui est bien séparé des érythrocytes et qui ne contient qu'une faible quantité d'érythrocytes hémolisés. En 1988, une tentative de séparation du plasma et des érythrocytes a quand même eu lieu et le plasma contaminé par l'hème a été dilué pour en atténuer l'effet.

9) Arrosages

Les arrosages ont été effectués par la compagnie Chemlawn. Le coordonnateur de la compagnie était prévenu un ou deux jours avant la

date fixée pour l'arrosage. Malheureusement, cette date qui était fixée en fonction de l'âge des oisillons, a été souvent modifiée à cause de la pluie ou des vents. Le tableau 1 présente les concentrations des produits utilisés.

Le diazinon était utilisé conjointement avec un fongicide, le benomyl. L'acéphate pouvait être utilisé seul ou avec un acaricide, le dicofol. Ces concentrations et quantités, ramenées en livres de matière actives par acre, représentent 1,94 livres/acre pour le diazinon et pour l'acéphate. La quantité utilisée sur les arbres est de 34 litres/123 m² (1 000 pi²) de feuillage et ce pour chacun des deux produits. Les arrosages durent quelques minutes (2-6).

Tableau 1 Concentrations et quantités épandues des divers pesticides utilisés par la compagnie Chemlawn lors de l'étude.

Produit	Concentration du produit (%)	Quantité épandue nb litres/1000 pi² de feuillage
Diazinon	0,06	30-34
Acéphate	0,06	30-34
Benomyl	0,12	30-34
Dicofol	0,12	30-34

4.6 Échantillonnage et attribution des nids dans les trois groupes

Toute l'aire d'étude fut parcourue en automobile ou à pied plusieurs fois par semaine pour la recherche de nids. Lorsqu'un nid était découvert, l'adresse et la localisation du nid étaient notées pour pouvoir le retrouver facilement. Par la suite, les propriétaires étaient contactés vers la fin de l'avant-midi ou durant l'après-midi, afin d'obtenir leur collaboration à l'étude. Leur réponse déterminait à quel groupe le nid serait attribué. Ainsi, si les gens voulaient collaborer et permettaient l'arrosage de l'arbre portant le nid, celui-ci fesait partie, selon la nature du support (feuillu ou conifère), du groupe traité à l'acéphate ou au diazinon. Sinon, le nid faisait partie du groupe témoin et s'il y avait refus de collaborer, aucune mesure ou suivi du nid ne furent effectués. Enfin, on demandait aux gens désirant collaborer la permission d'essayer de capturer chez eux un des deux merles adultes afin d'effectuer les prélèvements sanguins devant permettre d'estimer l'inhibition de l'acétylcholinestérase. Notons que les nids découverts lorsque les oisillons étaient agés de plus de 9 jours, étaient automatiquement exclus des groupes traités, à cause du délai minimum de 2 jours nécessaire pour le traitement et l'observation.

En 1988 seuls les nids contenant des oeufs ou des oisillons de moins de trois jours au moment de leur découverte, pouvaient faire l'objet d'une tentative de capture des oiseaux adultes. En effet, un délai d'environ une semaine est nécessaire entre deux séances de capture pour permettre au sang de l'oiseau capturé de se régénérer. De plus, l'observation des comportements n'était effectuée que le lendemain de l'arrosage. En 1989, tous les nids dont les jeunes avaient moins de 10 jours ont pu faire l'objet de capture puisqu'il n'y avait pas de seconde capture ni de séance d'observation.

Tous les nids traités en 1988 ont fait l'objet d'au moins une période d'observation de deux heures après le traitement et dans certains cas, avant ce dernier. Pour les nids du groupe témoin, seulement ceux découverts avant l'âge de 11 jours purent faire l'objet d'une période d'observation.

4.7 Analyses statistiques

L'effet de certains facteurs qui peuvent affecter la ponte ou la productivité, à savoir, la taille de la nichée, la nature et la hauteur du support, fut vérifié par des comparaisons utilisant les tests appropriés (Scherrer, 1984).

L'inhibition de l'acétylcholinestérase fut comparée entre les groupes témoins et traités par un test U de Mann-Whitney pour très petits échantillons (Scherrer, 1984).

Les différentes comparaisons entre les nids témoins et traités impliquant la ponte et la productivité furent effectuées à l'aide du test X^2 ou du test exact de Fisher en tenant compte des facteurs significatifs.

Avant de procéder aux comparaisons des comportements, il fallu s'assurer qu'il n'y avait pas de variation des comportements selon l'heure des observations. La comparaison des comportements par rapport aux deux périodes d'observation a donc été effectuée, à l'aide du test t modifié.

Les facteurs qui peuvent influencer les comportements de reproduction et par conséquent, contrebalancer un effet possible des traitements furent analysés. La relation entre ces facteurs et les comportements fut d'abord vérifiée à l'aide du coefficient de corrélation de rang de Spearman. Cette analyse fut utilisée plutôt que le R de Pearson car plusieurs des variables n'avaient vraisemblablement pas une distribution normale ou étaient des variables ordinales.

Une régression multiple fut ensuite effectuée sur chacun des comportements afin d'établir la contribution relative de chacun des facteurs à la variation de ces comportements. Les durées de couvaison des oeufs et des oisillons ont été traitées séparément.

Les facteurs considérés dans les corrélations et les régressions étaient les conditions d'observation, à savoir, la température, la vitesse du vent, la nébulosité et la durée des précipitations; l'âge et le nombre d'oisillons, le nombre de voyages de nourrissage, la durée de couvaison et le nombre de sacs fécaux disposés, et finalement, la date. Ce dernier facteur représente la phénologie. Par conséquent, dans les analyses, chaque journée d'observation se voit attribuer un numéro julien qui correspond au nombre de jours écoulés depuis le début de l'année.

Le code des différentes variables utilisées dans les corrélations et les régressions est présenté au tableau 2.

Les comparaisons des variables de comportement entre les groupes de nids traités et le groupe témoin furent effectuées à l'aide d'analyses de variance à un critère de classification et d'analyses factorielles de variance (Sokal et Rohlf 1981).

Tableau 2 Description des variables utilisées dans les corrélations et les régressions multiples.

Code	Description
NV	Nombre de voyages de nourrissage par 2 heures
CO	Durée de couvaison en minutes par 2 heures
SA	Nombre de sacs fécaux disposés par 2 heures
AG	Age des oisillons en jours
NO	Nombre d'oisillons
VE	Vent selon l'échelle de Beaufort
TE	Température en Celsius
NE	Nébulosité en %
PR	Durée des précipitations en minutes par 2 heures
DA	Numéro julien de la journée

5.0 RÉSULTATS

5.1 Généralités

5.1.1 Résultats de la campagne de terrain

La campagne de terrain a débuté le 11 mai et s'est terminée le 4 juillet. Les 298 clients de la compagnie Chemlawn de l'aire d'étude ont été contactés, et 200 ont donné leur approbation à une visite sur leur propriété. Environ 190 de celles-ci ont été visitées en 6 jours, mais seulement 9 nids de Merle d'Amérique ont été découverts sur leurs propriétés (avec un maximum de 3 en une journée). La seconde stratégie, celle qui consiste à suivre les Merles d'Amérique qui affichent un comportement reproducteur, s'est avérée plus productive, car jusqu'à 20 nids ont été découverts en une seule journée et plus de 50 en une semaine.

Au total, 141 nids de merle ont été découverts entre le 11 mai et le 23 juin 1988. Toutefois, 37 de ceux-ci ont été éliminés parce qu'aucune visite n'a été effectuée à la période précédant l'envol des oisillons ou à cause de la difficulté de vérifier le contenu du nid. Il y a eu 98 périodes d'observation de deux heures effectuées sur 71 nids. Notons que plusieurs nids ont été observés à plus d'une reprise. Enfin, 11 femelles de Merle d'Amérique ont été baguées et fait l'objet d'un prélèvement sanguin lors des séances de capture.

En 1989, 35 nids de merle ont été découverts entre le 31 mai et le 16 juin. Onze nids ont été arrosés au diazinon et 4 à l'acéphate. Six femelles des nids arrosés au diazinon et 3 à l'acéphate ont pu être capturées.

Le tableau 3 présente les effectifs des nids et des périodes d'observation selon le stade de développement quant aux différents traitements.

Tableau 3 Effectifs des nids de Merle d'Amérique pouvant servir au calcul de la productivité pour chacun des traitements et nombre de périodes d'observation effectuées durant chaque stade de développement et pour chaque traitement.

	Groupes					Total
	Témoin	Acéphate		Diazinon		
		avant	après	avant	après	
Total de nids	65	27		12		104
Nids servant au calcul de la productivité	57	20		11		88
Nids observés au moment du traitement		1 ----------> 1		1 ----------> 1		2
Nids observés						
Oeufs	7 (8)[1]	3	6	1	3	16
Oisillons[2]						
Stade 1 (0-4 jours)	5 (6)	2	3	1	2	10
Stade 2 (5-8 jours)	8 (13)	4	8	1	4	20
Stade 3 (9+ jours)	14 (21)	1	10	0	1	25
Prélèvements sanguins en 1988	8 2[3]	0	1	0	2	13
Analyses d'AChE réalisées en 1988	1		1		2	4
Prélèvements sanguins et analyses réalisés en 1989	6[4]	3		6		9
Prélèvements-cerveaux et analyses en 1989	2[4]	3		5		8

1. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre total de périodes d'observation dans la catégorie d'âge concernée. Le nombre de périodes est plus élevé que le nombre de nids observés, car plusieurs de ceux-ci ont fait l'objet de 2 ou même trois périodes d'observation. Chaque période comprend l'observation d'un nid durant 2 heures. Les comportements mesurés sont le nombre de becquées, la durée de couvaison et le nombre de sacs fécaux disposés par les adultes.

2. (x-y jours) = âge au moment des arrosages.

3. Recaptures

4. Prélèvements effectués par G. Rondeau (région de Sherbrooke) et/ou D. Graban (région de Québec).

Les données permettent par rétrocalcul, d'estimer que la ponte du premier oeuf 1988 a eu lieu vers le 18 avril. Pour ce faire, on considère que la couvaison débute dans la nuit suivant la ponte du deuxième oeuf (Schantz 1939, Bent 1964), que la durée de la couvaison est de 13 jours (Young 1955, Howard 1967, Kemper et Taylor 1981) et finalement, que la durée de la période d'élevage des jeunes jusqu'à l'envol, est de 13 jours (Young 1955). Le couple le plus hâtif ne peut avoir initié une seconde nichée avant le 25 mai. En effet, il peut s'écouler jusqu'à 13 jours entre le départ des jeunes et la ponte du premier oeuf de la seconde nichée (Brackbill 1947). Mais la période minimum peut difficilement être inférieure à 6 jours car cette valeur correspond approximativement à la durée moyenne de la construction d'un nid (Howe 1898). Ainsi, les nids initiés à partir du 25 mai sont considérés comme des secondes nichées. Parmi les nids dont les données permettent le classement selon la nichée, 84 correspondent à la première et 28 à la seconde. Dans cette dernière catégorie on devrait aussi retrouver la majorité des nids qui correspondent à des pontes de remplacement.

5.1.2 Caractéristiques du site de nidification

La hauteur moyenne des nids est de 3,8 m (n = 139). Toutefois, la hauteur moyenne dans les arbres feuillus est supérieure à celle dans les conifères (t_{mc} = 4,2; ddl = 52; $p < 0,001$). Ces hauteurs sont respectivement de 4,7 m (n = 36) et de 3,5 m (n = 99).

Selon Knupp (1977), cette différence serait expliquée par la structure et par une différence dans la hauteur moyenne de ces deux catégories d'arbres. La moyenne du rapport de la hauteur du nid sur celle du support est plus élevée chez les feuillus que chez les conifères (0,6 VS 0,4; t_{mc} = 4,3; ddl = 75; $p < 0,001$). Ainsi, la dissimilitude serait, comme le suggère Knupp (1977), expliquée par des différences de structure entre ces deux catégories d'arbres. Notons que les épinettes ont généralement des branches feuillées à partir du sol, alors que les arbres décidus n'ont généralement pas de branches feuillées avant deux ou trois mètres de hauteur.

Les principaux supports de 142 nids sont: l'Épinette bleue (n = 47), les autres épinettes (n =48), l'Érable argenté (n = 15) et l'Érable à sucre (n = 5). Seulement 5 nids sont construits dans les arbres fruitiers, à savoir, 4 dans les pommetiers décoratifs et un seul dans les cerisiers (Prunus sp.). Enfin, cinq nids sont érigés sur des structures (gouttières, lanternes). On ne peut parler de sélectivité ou de préférence, car aucune mesure de disponibilité n'a été effectuée. Toutefois, le merle pourrait préférer les épinettes aux autres essences à cause de l'arrangement des branches (Yahner 1983) qui assure une meilleure dissimulation du nid.

Par ailleurs, la proportion de nids construits dans les feuillus pour les secondes nichées est supérieure à celle des premières nichées (66 % vs 12%; X^2 = 28,8, ddl = 1, $p < 0,005$). Ce phénomène a déjà été

constaté au Minnesota (Yahner 1983). On peut l'expliquer par le fait que les arbres décidus sont dépourvus de feuilles pendant la plus grande partie de la période correspondant à la première nichée. Les oiseaux sont donc obligés de rechercher le couvert des conifères pour la construction de leur nid.

5.1.3 Observation des oiseaux durant l'arrosage

Un nid a été observé au moment de l'arrosage de chacun des deux produits à l'étude en 1988. La femelle du nid traité à l'acéphate s'est envolée à l'arrivée du préposé à l'arrosage et n'est revenue qu'après le traitement. Le mâle s'est posé brièvement dans l'arbre durant l'arrosage, puis après, il est revenu se percher pendant deux minutes. Ainsi, les oisillons ont peut-être été aspergés directement. Les deux adultes étaient de retour avec de la nourriture cinq minutes après l'arrosage.

En ce qui concerne le diazinon, la femelle est demeurée sur le nid durant toute la période d'arrosage et n'a pas paru affectée. Notons toutefois, que les oisillons étaient agés de seulement deux jours, alors que dans le cas de l'acéphate, ils étaient agés de 8 jours. Le temps consacré à la couvaison par la femelle est plus court lorsque les oisillons ont ce dernier âge (obs. pers.).

En 1989, les 9 nids dont les femelles ont été capturées ont été observés pendant l'arrosage. Les 9 femelles ont eu l'un des trois types de comportement suivant: certaines ont couvé tout au long de l'arrosage, d'autres ont couvé quelques secondes, se sont envolées, sont revenues se percher dans l'arbre pour finalement s'envoler, enfin les autres étaient absentes tout au long de l'arrosage. En général, les femelles qui ont couvé durant l'arrosage étaient celles dont le nid contenait des oeufs ou de très jeunes oisillons (tableau 4).

Malgré le peu de données, il semble probable que pendant le stade de couvaison des oeufs et jusqu'à ce que les oisillons soient agés d'environ six jours, seule la femelle est exposée directement à l'arrosage. Les oisillons de plus de six jours sont probablement toujours aspergés.

5.2 Effet sur les adultes

Aucune mortalité d'adulte n'a été détectée. Tous les nids à l'étude ont continué à recevoir la visite des adultes après l'arrosage.

Tableau 4 Résultats des analyses de l'activité de l'acétylcholinestérase dans le plasma sanguin et les cerveaux en fonction de l'exposition des femelles et de l'âge des jeunes au moment de l'arrosage.

Activité de l'AChE[1] dans le plasma sanguin U/l[2]	Activité de l'AChE dans le cerveau U/g[3]	Comportement	Age de la couvée
Groupe traité au diazinon			
2219 ± 6	29,6 ± 2,7	absente	—
1057 ± 14	26,2 ± 0,1	couve et s'envole	oeufs
958 ± 22	24,5 ± 1,7	s'envole au centre de l'arbre	8-9 jours
496 ± 41	38,8 ± 1,1	couve et s'envole	oeufs
640 ± 6	----	couve	oeufs ou 0-1 jours
590 ± 39	24,6 ± 0,2	couve	2-3 jours
Groupe traité à l'acéphate			
2141 ± 101	22,7 ± 0,2	absente	10-11 jours
936 ± 45	32,7 ± 0,2	couve et s'envole	—
2309 ± 13	23,4 ± 0,7	—	8-9 jours
Groupe témoin[4]			
2632		—	—
2822		—	—
2825 ± 26		—	—
2876 ± 69		—	—
3753 ± 104	30,2[5] ± 0,2	—	—
6604 ± 282		—	—

1. Moyenne et écart-type de l'homogénat analysé en duplicata.
2. U/l: Unité internationale par litre i.e. µmole par minute par litre.
3. U/g: Unité internationale par gramme i.e. µmole par minute par gramme.
4. Les données du groupe témoin proviennent de deux autres études effectuées au Québec (Guy Rondeau, FIQ et Douglas Graham, Groupe SAGE Ltée, comm pers.).
5. L'activité de l'AChE du cerveau n'a été mesurée que pour un des oiseaux du groupe témoin.

5.3 Mesure de l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE)

La méthode de détermination de l'AChE dans le sang requiert du plasma séparé des érythrocytes et qui ne contient que de très petites quantités d'érythrocytes hémolysés. Malheureusement, il semble que les contenants "Opendhorf" utilisés en 1988 ne convenaient pas pour de si petites quantités de sang et qu'il y a eu mélange au moment de la prise en glace. En dépit de ces difficultés, le sang fut centrifugé de nouveau pour tenter d'obtenir du plasma analysable.

Les surnageants de plasma qui ont été obtenus étaient mélangés avec l'hème de façon variable et cette variabilité des échantillons peut altérer les résultats. A cause de ces déficiences, seulement quelques prélèvements ont été analysés, après avoir dilué le plasma pour surmonter le problème de mélange. Les résultats sont toutefois difficilement utilisables.

Des captures ont donc été à nouveau réalisées en 1989 et des prélèvements sanguins et de cerveaux ont été faits. L'analyse des résultats de la détermination de l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) dans le plasma sanguin des 6 femelles dont le nid a été arrosé au diazinon semble démontrer une inhibition significative de cette activité par rapport à celle des femelles témoins issues des autres études (993 ± 639 U/l, n=6 vs 3585 ± 1531 U/l, n=6; test U de Mann-Whitney p_u= 0,002) (tableau 4).

L'activité de l'AChE du plasma sanguin des femelles dont le nid avait été arrosé à l'acéphate a beaucoup varié et l'effectif de l'échantillon est très faible, mais elle est significativement inférieure à celle des témoins des autres études (1795 ± 749 U/l, n=3 vs 3585 ± 1531 U/l, n=6; test U de Mann-Whitney p_u= 0,002).

Les oiseaux ayant été exposés à l'arrosage au diazinon ont subi une diminution de 72 % de l'activité de l'AChE contre 50 % chez ceux arrosés à l'acéphate.

Un seul cerveau a servi à l'analyse de l'AChE du groupe témoin (30,2 ± 0,15 U/g, n=2). L'AChE dans les cerveaux des 8 femelles dont le nid a été arrosé au diazinon (28,7 ± 6,0 U/g, n=5) ou à l'acéphate (26,3 ± 5,6 U/g, n=3) varie peu et présente des concentrations qui semblent comparables à celle du merle témoin. Il se produit souvent qu'il y ait suffisamment de pesticides dans le sang pour montrer des différences significatives de l'AChE sans pour autant montrer de différences au niveau du cerveau. La cinétique propre à chacun des produits au travers des divers organes peut être la cause de la divergence des résultats (S. Kennedy, laboratoire du Centre national de la recherche faunique (SCF-Hull), comm. pers).

Le comportement des femelles au nid pendant l'arrosage pouvant être un facteur important pour l'absorption du contaminant, ce paramètre a été mis en relation avec les divers taux d'inhibition de l'AChE (tableau 4).

Les femelles qui étaient absentes au moment du traitement au diazinon ou à l'acéphate sont parmi celles qui ont subi le moins d'inhibition de l'activité de l'AChE alors que celles qui sont restées tout au long ont été le plus exposées.

5.4 Effets des traitements sur la productivité et le succès de reproduction

De façon à dégager les effets des traitements des insecticides sur la productivité et le succès de reproduction, nous avons d'abord étudié les caractéristiques de la ponte, de la productivité et du succès de reproduction.

5.4.1 Caractéristiques de la ponte

La ponte moyenne de la première nichée est supérieure à celle de la seconde (3,9 vs 3,2; X^2 = 10,95; ddl = 1; $p < 0,005$). Cette différence est encore plus grande si l'on compare les nids initiés avant le 15 mai avec ceux initiés après le premier juin (4,0 vs 3,1; X^2 = 7,27; ddl = 1; $p < 0,01$). Une différence significative a aussi été observée au Massachusetts, dans l'état de New-York et au Nouveau Brunswick, mais entre les pontes moyennes de mai et juillet (Howard 1967).

Il n'existe aucune différence de ponte entre les nids situés dans les conifères et les feuillus pour la première nichée (4,0 vs 3,5; test exact de Fisher; p = 0,974). Par contre, à la deuxième nichée une différence significative est observée (3,6 vs 3,0; test exact de Fisher; p = 0,034). Elle peut être expliquée par le fait que les derniers nids initiés de la deuxième nichée ont été construits dans les feuillus et correspondent aux pontes les plus faibles. Notons cependant que les effectifs sont faibles (7 dans les conifères et 9 dans les feuillus) et que le coefficient de risque est près de la limite de signification.

Ces résultats suggèrent qu'il faut tenir compte de la nichée et de la nature du support lors des comparaisons de la ponte et possiblement aussi de la productivité, entre les nids traités et témoins.

5.4.2 Caractéristiques de la productivité

Une différence significative dans la productivité (nombre d'oisillons encore vivants à l'âge de 11 jours) est observée entre les deux nichées du groupe témoin (n = 57), (3,2 vs 2,6; X^2 = 5,1; ddl = 1; $p < 0,05$). Si l'on considère l'ensemble des nids dont la productivité est connue (n = 88), ce qui comprend les nids des groupes traités, la productivité de la première nichée est aussi significativement supérieure à la seconde (3,3 vs 2,5; X^2 = 9,02; ddl = 1; $p < 0,005$).

Cette différence est vraisemblablement due à la ponte (celle de la deuxième nichée est plus faible) et peut-être à d'autres facteurs inconnus, mais elle n'infirme pas la possibilité d'un effet des traitements.

Il n'y a pas de différence significative de productivité entre les nids situés dans les conifères et ceux situés dans les feuillus et ce pour les premières nichées du groupe témoin (3,2 vs 3,0; $X^2 = 0,669$; ddl = 1; $p > 0,25$), ou pour les données combinées des deux nichées (3,1 vs 2,8; $X^2 = 0,7641$; ddl = 2; $p > 0,5$). Les données sont insuffisantes en ce qui concerne la seconde nichée.

Aucune différence de productivité n'a été détectée en fonction de la hauteur du nid dans le groupe témoin ($X^2 = 1,827$; ddl = 2; $p > 0,25$). Ces résultats concordent avec ceux de Yahner (1983), qui n'a pas observé de différence du succès de reproduction en fonction de la hauteur des nids chez le Merle d'Amérique au Minnesota.

Ces résultats indiquent qu'il est préférable de tenir compte de la nichée lors des comparaisons de la productivité des nids entre le groupe témoin et les groupes traités.

5.4.3 Caractéristiques du succès de reproduction

Le succès de reproduction d'un nid est le rapport du nombre d'oisillons encore vivants à l'âge de 11 jours sur le nombre d'oeufs pondus. Malheureusement, le faible nombre de données sur la ponte réduit considérablement l'effectif des nids dont le succès peut être calculé. Seule, la comparaison entre les nichées est possible et ce pour le groupe témoin. Les valeurs du succès pour la première et la seconde nichée sont respectivement de 71 % et 75 % mais la faible différence n'est pas significative (test exact de Fisher; $p = 0,595$). Notons que selon Mayfield (1961) le succès devrait être estimé seulement en utilisant les nids qui ont été suivis depuis la ponte du premier oeuf jusqu'à l'envol des oisillons. Autrement, il y a surestimation du succès parce que les nids ayant subit la prédation ou ayant été abandonnés avant leur découverte, ne sont jamais utilisés dans les calculs.

5.4.4 Comparaison de la productivité entre les groupes traités et le groupe témoin

La productivité (i.e. le nombre d'oisillons encore vivants à l'âge de 11 jours) du groupe témoin est supérieure à celle du groupe traité au diazinon (3,1 vs 2,3) mais la différence n'est pas significative (analyse factorielle de variance avec comme modalités les nichées; $F = 0,61$; ddl = 1; $p > 0.4$). Comme ce test s'applique mal aux variables de ce genre (la productivité peut être assimilée à une variable semi-quantitative où les variantes possibles vont de 0 à 5), la comparaison a été reprise avec le test exact de Fisher. Deux tests ont été effectués; le premier compare les proportions des nids produisant de 0 à 2 oisillons et 3 oisillons et plus, alors que le second compare les proportions de nids contenant 0 et 1 oisillons et celles de 2 oisillons et plus. Aucune des différences observées n'est significative ($p = 0,21$ et $p = 0,70$).

Une autre comparaison de la productivité est effectuée en utilisant, pour le groupe témoin, seulement les données des nids situés dans les feuillus puisque les arrosages au diazinon ont eu lieu dans ce type d'arbres seulement. Encore une fois, la différence n'est pas significative (2,9 vs 2,3, test exact de Fisher; $p = 0,395$).

En ce qui concerne les nids de la première nichée traités à l'acéphate, la différence de leur productivité par rapport à celle du groupe témoin est faible (3,5 vs 3,2) et n'est pas significative ($X^2 = 3,70$; ddl = 2; $p > 0,1$). Une autre comparaison entre l'ensemble des données du groupe témoin et celles de l'acéphate montre des résultats similaires (3,5 vs 3,1; $X^2 = 5,27$; ddl = 2; $p > 0,05$). La différence est ici plus importante mais ne peut être attribuée à la plus grande proportion de nids appartenant à la seconde nichée chez le groupe témoin, car cette proportion ne diffère pas entre les deux groupes (0,19 vs 0,25; $X^2 = 0,844$; ddl = 1; $p > 0,25$) et elle est même plus élevée dans le groupe traité à l'acéphate.

5.4.5 Comparaison de la prédation et de l'abandon des nids entre les groupes traités et le groupe témoin

La proportion des nichées détruites par les prédateurs ou suspectées de l'être, ne diffère pas significativement entre le groupe traité au diazinon et le groupe témoin (test exact de Fisher; $p = 0,95$). Les nombres de ces nids sont respectivement de 2 et 4. La proportion ne diffère pas non plus entre le groupe témoin et le groupe traité à l'acéphate (test exact de Fisher; $p = 0,205$). Signalons qu'aucune des nichées traitées à l'acéphate n'a été la victime de prédateurs. Il y a eu deux nids abandonnés à la suite des captures ou des tentatives de capture, un pour le groupe témoin et un pour le groupe traité à l'acéphate. Les résultats de ces deux nids n'ont pas été considérés dans le calcul de la productivité.

5.5 Effets des traitements sur le comportement

A l'instar de la productivité, plusieurs facteurs susceptibles d'interférer avec l'évaluation des effets des traitements sur le comportement des oiseaux sont analysés.

5.5.1 Effet de l'heure sur les résultats des observations

Il n'y a aucune différence significative de la durée de couvaison en minutes par période de 2 heures, des oisillons agés de 0 à 4 jours entre les observations effectuées de 5:30 à 7:30 et celles de 7:30 à 9:30 (83 vs 81; $t_{mc} = 0,188$; ddl = 6; $p > 0,8$). Le même résultat est obtenu pour la durée de couvaison des oeufs (104,5 vs 102,5; $t_{mc} = 0,396$; ddl = 4; $p > 0,7$).

En ce qui concerne le nombre de voyages de nourrissage par période de 2 heures, aucune différence significative n'a été décelée entre les heures d'observations que ce soit pour les oisillons agés de 0 à 6 jours (13 vs 10; t_{mc} = 1,35; ddl = 8; p > 0,2) ou plus de 6 jours (10 vs 13; t_{mc} = 1,33; ddl = 5; p > 0,2).

Comme il ne semble pas y avoir de différence de comportement en fonction de l'heure, il s'avère justifié d'intégrer les observations effectuées durant ces deux périodes lors des comparaisons entre les nids traités et témoins.

5.5.2 Relations entre les comportements, les conditions d'observation et autres facteurs

Ces analyses ont été effectuées dans le but de vérifier les relations entre certains facteurs et les comportements. L'existence de relations peut refléter un effet des facteurs sur les comportements.

La durée de couvaison des oeufs n'est correlée significativement avec aucune autre variable. Par contre, la durée de couvaison des oisillons est correlée négativement avec l'âge des oisillons (R_s = -0,796; p = 0,0001), la température (R_s = - 0,582; p = 0.0002) et le nombre de voyage de nourrissage (R_s = - 0,39; p = 0,019), et positivement avec les précipitations (R_s = 0,321; p = 0,0565). Cette dernière probabilité est à la limite de la signification et notons que très peu d'observations ont été effectuées par temps de pluie. Il semble d'après ces résultats, que plus les oisillons sont agés, moins il y a de temps consacré à leur couvaison de la part de la femelle, et plus il y en a au nourrissage. Ces résultats indiquent qu'il faut tenir compte de l'âge des oisillons et de la température lors des comparaisons entre les traitements, car ils peuvent contrebalancer leurs effets.

Le nombre de voyages de nourrissage effectués par les deux adultes est correlé positivement avec l'âge des oisillons (R_s = 0,52; p = 0,0012), le nombre d'oisillons (R_s = 0,38; p = 0,023) et négativement avec la durée de couvaison (R_s = - 0,39; p = 0,019) et la date (R_s = -0,321; p = 0,056). Cette dernière corrélation est toutefois à la limite de la signification. Ces résultats suggèrent que la quantité de nourriture apportée par les adultes augmente avec l'âge et le nombre des oisillons. Par ailleurs, il semble que la plus grande partie du temps qui n'est pas utilisé pour la couvaison sert à la recherche de nourriture. Notons que ceci concerne seulement la femelle, car elle effectue la couvaison presque entièrement seule (Klimstra et Stieglitz 1957, McLean et al. 1986, obs. pers.). Enfin, la légère relation avec la date semble indiquer qu'il y a un ralentissement du nombre de voyage à mesure que la saison de reproduction progresse. Il pourrait s'expliquer par le plus petit nombre d'oisillons dans les nids des secondes nichées ou vice versa, la nourriture devenant plus rare, il y a moins de visites de nourrissage et donc une pression sélective favorisant des pontes plus petites.

Ces résultats indiquent qu'il faudrait tenir compte de l'âge et du nombre d'oisillons dans les comparaisons du nombre de voyages de nourrissage entre les nids témoins et traités.

Enfin, le nombre de sacs fécaux disposés est corrélé positivement avec le nombre de voyages de nourrissage (R_s = 0,66; p = 0,0001), l'âge des oisillons (R_s = 0,51; p = 0,0022), le nombre d'oisillons (R_s = 0,39; p = 0,025), et négativement avec la date (R_s = - 0,372; p = 0,033). Cette dernière corrélation pourrait refléter la relation existant entre le nombre de sacs fécaux disposés et le nombre de voyages de nourrissage, puisque la date est aussi corrélée négativement à cette dernière variable. Encore une fois, les résultats indiquent qu'il faut tenir compte du nombre et de l'âge des oisillons dans les comparaisons.

5.5.3 Variables explicatives des comportements

Les analyses de régression multiple, qui sont effectuées en utilisant seulement les données du groupe témoin, ont pour but de quantifier le degré de relation entre certains facteurs et les comportements. Les résultats suggèrent des relations de cause à effet, mais ne les démontrent pas, car les traitements n'ont pas lieu dans des conditions rigoureusement contrôlées.

Les résultats d'une première régression multiple pas-à-pas indiquent qu'aucune variable ne réussit à expliquer significativement les variations de la durée de couvaison des oeufs. Notons toutefois, que la durée de couvaison est très stable d'une observation à l'autre. Les résultats d'une autre régression multiple pas-à-pas montrent que l'âge, le nombre d'oisillons et le vent peuvent expliquer ensemble 57 % de la variation du nombre de voyages de nourrissage (tableau 5). L'examen des coefficients de régression standardisés indique que le nombre de voyages de nourrissage augmente directement en fonction de l'âge ou du nombre d'oisillons et varie inversement en fonction de la vitesse du vent.

Tableau 5 Résultats d'un modèle de régression multiple entre le nombre de voyage de nourrissage et différentes variables significatives.

	b	erreur type b	F pour H_o (b_1 = 0)	p > F
Ordonnée à l'origine	12,330517			
AG	0,972828	0,188003	26,78	0,0001
NO	4,892127	1,001403	23,87	0,0001
VE	-1,892961	0,686578	7,60	0,0098

Modèle F = 11,15, p = 0,0021, R^2 = 0,57

(autres variables considérées: CO, SA, DA, TE, NE, PR)

Une troisième régression multiple pas-à-pas montre que l'âge et la température peuvent expliquer ensemble 78 % de la variation de la durée de couvaison des nids contenant des oisillons (tableau 6). L'examen des coefficients de régression indique que la durée de couvaison augmente lorsque la valeur de ces deux variables s'abaissent.

Tableau 6 Résultats d'un modèle de régression multiple entre la durée de couvaison des oisillons et différentes variables significatives.

	b	erreur type b	F pour H_o ($b_1 = 0$)	p > F
Ordonnée à l'origine	144,910818			
AG	-7,883616	0,969612	66,11	0,0001
TE	-2,666429	0,648398	16,91	0,0002

Modèle F = 59,05, p = 0,0001, R^2 = 0,78

(autres variables considérées: CO, NO, NV, SA, DA, VE, NE, PR)

Enfin, la variation du nombre de sacs fécaux, telle qu'indiquée par les résultats d'une régression multiple pas-à-pas, est expliquée à 39 % par la variation du nombre de voyages de nourrissage par deux heures. L'examen du coefficient de régression (tableau 7) indique que le nombre de sacs fécaux s'élève lorsque le nombre de voyages de nourrissage augmente.

Tableau 7 Résultats d'un modèle de régression multiple entre le nombre de sacs fécaux disposés et certaines variables significatives.

	b	erreur type b	F pour H_o ($b_1 = 0$)	p > F
Ordonnée à l'origine	1,227475			
NV	0,761051	0,160030	22,62	0,0001

Modèle F = 11,57, p = 0,0002, R^2 = 0,39

(autres variables considérées: AG, NO, CO, DA, TE, VE, NE, PR)

Une dernière régression a été effectuée en omettant le nombre de voyages de nourrissage parmi les variables explicatives du nombre de sacs fécaux disposés. Elle montre que 54,8 % de la variation du nombre de sacs fécaux est expliqué par la variation de l'âge, du nombre d'oisillons et par le vent. L'examen des coefficient de régression (tableau 8) indique que le nombre de sacs fécaux augmente avec l'âge et le nombre d'oisillons et diminue lorsque la vitesse du vent s'élève.

Tableau 8 Résultats d'un modèle de régression multiple entre le nombre de sacs fécaux disposés et certaines variables significatives mais en omettant le nombre de voyages de nourrissage.

	b	erreur type b	F pour H_o ($b_1 = 0$)	p > F
Ordonnée à l'origine	18,520087			
AG	0,949398	0,236808	16,07	0,0004
NO	5,387825	1,292301	17,38	0,0003
VE	-2,267617	0,860386	6,95	0,0135

Modèle F = 10,47, p = 0,0001, R^2 = 0,55

(autres variables considérées: NV, CO, SA, DA, TE, NE, PR)

En conclusion, il s'avère prudent de considérer, selon le paramètre comportemental, l'âge, le nombre d'oisillons, le vent ou la température en vue des comparaisons entre nids traités et témoins.

5.5.4 Comparaison des comportements entre les nids traités et témoins.

La comparaison de la durée de couvaison des oeufs entre les nids du groupe témoin et ceux des groupes traités n'indique aucune différence significative (analyse de variance; F = 1,1; ddl = 2; p > 0,36).

En ce qui concerne la durée de couvaison des oisillons, le nombre de voyages de nourrissage et le nombre de sacs fécaux disposés par les adultes par période de 2 heures, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements (analyses factorielles de variance), peu importe la catégorie d'âge considérée (tableaux 9, 10 et 11).

Tableau 9 Résultats des comparaisons du nombre de voyages de nourrissage entre les traitements selon les catégories d'âge (analyses factorielles de variance, traitements X nombre de jeunes).

Catégories d'âge	Nombre de voyages, x (n) témoin	acéphate	diazinon	F	ddl	p
0-4 jours	9,5 (8)	6 (3)	9 (1)	1,09	2	> 0,3
5-8 jours	11,2 (15)	14 (8)	9 (4)	0,33	2	> 0,7
9 jours +	15,4 (19)	13,5 (10)	11 (2)	0,79	2	> 0,4
0-6 jours	10,3 (11)	8 (4)	9 (3)	0,04	2	> 0,9
7 jours +	14,5 (24)	13,1 (16)	12 (3)	0,37	2	> 0,6

Tableau 10 Résultats des comparaisons de la durée de couvaison des oisillons entre les traitements selon les catégories d'âge (analyses factorielles de variance, traitements X nombre de jeunes).

Catégories d'âge	Durée de couvaison, (min./ 2heures) (n) témoin	acéphate	diazinon	F	ddl	p
0-4 jours	85,9 (10)	68 (3)	93 (2)	1,36	2	> 0,3
0-6 jours	80,0 (11)	66 (4)	97 (3)	1,75	2	> 0,2

Tableau 11 Résultats des comparaisons du nombre de sacs fécaux disposés par les deux adultes par période de deux heures entre les traitements selon les catégories d'âge (analyses factorielles de variance, traitements X nombre de jeunes).

Catégories d'âge	Nombre de sacs fécaux (n) témoin	acéphate	diazinon	F	ddl	p
0-4 jours	5 (8)	5 (3)	6 (1)	0,27	2	> 0,7
5-8 jours	11,3 (13)	12 (8)	9 (4)	0,01	2	> 0,9
9 jours +	13,4 (18)	11,8 (10)	6 (2)	1,91	2	> 0,1
0-6 jours	6,4 (10)	7 (4)	6 (3)	0,14	2	> 0,8
7 jours +	13,0 (23)	11,9 (16)	9 (3)	0,65	2	> 0,6

Les effectifs impliqués dans chacune de ces comparaisons, et par conséquent le nombre de degré de liberté sont généralement faibles. En outre, tous les facteurs significatifs n'ont pas été considérés. Aussi, trois analyses de covariance ont été effectuées, respectivement sur le nombre de voyages de nourrissage, la durée de couvaison des oisillons et le nombre de sacs fécaux disposés. Ce genre d'analyse permet de comparer différentes valeurs de la variable expliquée en enlevant préalablement l'effet de certaines variables explicatives (Sokal et Rohlf 1981). Un autre avantage de l'analyse de covariance réside en ce quelle tient compte de l'ensemble des données.

Dans la première analyse, la variable dépendante est le nombre de voyages de nourrissage et les variables indépendantes sont: l'âge, le nombre d'oisillons et le vent. Notons que ces trois dernières variables sont celles qui étaient significatives dans la régression multiple (tableau 5). Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significative du nombre de voyages de nourrissage entre les traitements (11,0 à 13,1; ddl = 2; F = 0,59; p = 0,56). Cependant, les femelles étant celles qui sont le plus susceptibles d'être exposées durant et après l'arrosage puisque ce sont elles qui couvent et restent au nid pendant la nuit, la même analyse a été répétée en ne tenant compte que des femelles. La différence n'est pas non plus significative (4,3 à 5,7; ddl = 2; F = 0,07; p = 0,93).

Les résultats de l'analyse de covariance avec comme variable dépendante la durée de couvaison des oisillons et comme variables indépendantes l'âge des oisillons et la température indiquent qu'il y a une différence significative entre les traitements (ddl = 2; F = 3,55; p = 0,036) (tableau 12). Notons que la probabilité est près de la limite de signification. Le tableau 12 nous montre que c'est l'âge qui affecte le plus la durée de couvaison. Comme il y a deux groupes de traitements et un témoin, l'analyse ne permet pas de déterminer quels sont le ou les groupes qui diffèrent. Conséquemment, nous avons refait la même analyse en effectuant les comparaisons des groupes deux à deux. Il s'avère qu'il n'y a pas de différence significative entre le groupe témoin et les groupes traités (tableau 13).

Tableau 12 Résultats de l'analyse de covariance entre la durée de couvaison en minutes par période de deux heures et l'âge et la température en fonction des traitements.

Variables	D.D.L.	Somme des carrés des écarts	Valeur de F	P > F
Traitement	2	2381,1	3,6	0,036
Age	1	39013,3	116,3	0,0001
Température	1	3820,3	11,4	0,0014

Tableau 13 Résultats de la comparaison de la durée de couvaison des oisillons par période de deux heures entre les groupes pris deux à deux (Analyse de covariance).

Traitements	F	P
Acéphate-diazinon	4,6	0,043
acéphate-témoin	3,5	0,069
Diazinon-témoin	8,0	0,189

Enfin, les résultats de la dernière analyse, dont la variable dépendante est le nombre de sacs fécaux disposés et les variables indépendantes sont le nombre et l'âge des oisillons et le vent, indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements (ddl = 2; F = 0,10; p = 0,91). La différence significative (p = 0,05) observée dans le nombre de sacs fécaux disposés entre le groupe traité au diazinon et les autres groupes telle qu'indiquée par la comparaison multiple (tableau 14), serait donc principalement due à la différence d'âge, au nombre d'oisillons entre les groupes et aux fluctuations normales d'échantillonnage.

Tableau 14 Résultats de la comparaison du nombre de sacs fécaux disposés par période de deux heures entre les groupes traités (Test S.N.K.; p = 0,05).

Traitement	Groupe[1]	Nombre de sacs fécaux disposés par deux heures	n (séances de 2 hres)
Témoin	A	10,7	29
acéphate	A	11,2	19
diazinon	B	7,4	7

[1]: Les moyennes avec la même lettre ne sont pas différentes significativement.

5.6 Synthèse des résultats

Une synthèse des résultats est présentée au tableau 15.

Tableau 15 Synthèse des résultats des effets du diazinon et de l'acéphate sur les différentes variables étudiées

Variable	Diazinon (+ benomyl)	Acéphate
Mortalité		
adultes	Non	Non
oisillons	Non	Non
Comportements		
nombre de voyages de nourrissage	Non	Non
couvaison des oeufs	Non	Non
couvaison des oisillons	Non	Non
nombre de sacs fécaux disposés	Non	Non
Physiologie		
Activité de l'AChE	Oui	Oui

6.0 DISCUSSION

6.1 Le diazinon

Aucune mortalité d'adulte ou de juvénile Merle d'Amérique n'a été enregistrée suite aux arrosages de diazinon sur les arbres feuillus[1]. Les signes d'empoisonnement par un organophosphoré chez les oiseaux (manque de coordination, spasmes au niveau des ailes, courbure du dos, abaissement des ailes, respiration difficile, contractions spasmodiques du sphincter anal, diarrhée, salivation, production de larmes, prostration et cambrure du cou vers le dos (Eisler, 1986)) n'ont pas été remarqués. Notons toutefois, que ces comportements n'ont pas fait l'objet de mesures attentives particulières.

L'inhibition de l'AChE dans le plasma sanguin s'est avérée significativement plus élevée chez les femelles du groupe traité. Cependant, la forte inhibition dans le plasma (72%) ne s'est pas traduite au niveau du cerveau (5 %). Ceci peut être dû à la cinétique particulière du diazinon dans l'organisme du merle (Sean Kennedy, laboratoire du Centre national de la recherche faunique (SCF-Hull), comm. pers). Il se peut aussi qu'un délai trop court entre le traitement insecticide et la capture de l'oiseau ait empêché de détecter les effets sur l'AChE du cerveau (Niethamer et Baskett 1983; Zinkl et al 1980 in Busby et al 1981; Custer et Mitchell 1987; De Weese et al 1983). Les oiseaux subissant des effets sublétaux dus à des inhibiteurs de l'AChE récupèreraient lorsqu'il y a discontinuité dans l'exposition (Niethamer et Baskett 1983). De plus, contrairement à ce qui se produit avec d'autres insecticides organophosphorés, les organismes qui survivent à l'inhibition de l'AChE causée par le diazinon, peuvent récupérer rapidement (Eisler, 1986). Les merles femelles auraient donc été exposées au diazinon mais nous ne savons pas jusqu'à quel point leur système nerveux central a pu être affecté.

Les voies d'exposition n'ont pas fait l'objet de cette étude. Cependant, le contact dermique avec le produit au moment de l'application est probablement ce qui a le plus contribué à exposer les merles. Les femelles qui étaient absentes au moment du traitement au diazinon sont d'ailleurs parmi celles qui ont subi le moins d'inhibition de l'activité de l'acétylcholinestérase. Le diazinon est considéré comme peu volatile (Lichtenstein et Schulz 1970). Par contre, lorsque nous allions faire nos observations suite à l'épandage du produit, nous pouvions sentir la forte odeur de celui-ci. Il est possible que les merles aient aussi inhalé du produit. Par ailleurs, nous avons observé que les merles ne s'alimentent qu'occasionellement

---

[1] Lorsque nous parlerons des effets du diazinon, il sera question des effets du diazinon et du benomyl conjugués. De même, lorsque nous traiterons de l'acéphate, nous traiterons des effets de l'acéphate et de formulations pouvant contenir de l'acéphate et du dicofol.

dans l'arbre où ils nichent et qu'ils se nourrissent peu dans un rayon de 3-5 mètres autour de cet arbre. Ils ont donc peu d'occasions d'ingérer du diazinon.

Le nombre de voyages de nourrissage dans le groupe traité est inférieur à celui du groupe témoin, mais la différence n'est pas significative. Cette différence demeure non significative si l'on ne considère que les femelles, celles-ci étant probablement les plus affectées par les arrosages puisqu'elles s'occupent seules de la couvaison. En testant les effets sublétaux de l'ingestion du dicrotophos par l'Étourneau sansonnet, Grue et al. (1982) ont constaté qu'il y avait une réduction du nombre de voyages au nid, non compensée par un apport plus important de nourriture et que la femelle restait éloignée du nid plus longtemps. La réduction de l'activité de l'oiseau et l'anorexie, suivies d'un état de léthargie (Stromborg 1977; Grue et al. 1982) peuvent expliquer ces phénomènes.

La productivité du groupe traité est inférieure à celle du groupe témoin (2,3 vs 2,9), bien que la différence ne soit pas significative. Peu d'auteurs ont démontré des effets des insecticides organophosphorés en nature (Grue et Flemming 1983). Par ailleurs, lors d'une étude quasi-expérimentale, Grue et al. (1982) ont démontré que chez l'Étourneau sansonnet, les oisillons des femelles traitées ont perdu plus de poids que ceux du groupe témoin. Ils suggèrent qu'en fonction de l'âge de la couvée, cette diminution des soins parentaux puisse entrainer la mort des oisillons par sous-alimentation ou augmenter leur vulnérabilité lors de l'envol. Un dérèglement au niveau comportemental des signaux oisillon-adultes lors du nourrissage pourrait aussi intervenir.

Ces facteurs pourraient expliquer la plus faible productivité dans le groupe traité. En effet, la tendance exprimée est semblable à celle détectée par Robinson et al (1988). Ces auteurs avaient aussi noté une productivité non significativement inférieure dans le groupe d'étourneaux exposés au méthyl parathion. Le succès de reproduction y était cependant significativement inférieur relativement à celui du groupe témoin. Ils concluaient que la reproduction avait été affectée par l'insecticide et attribuaient à leur faible effectif l'absence de signification de la tendance exprimée.

Il ne semble pas que le comportement de défense et d'harassement du Merle d'Amérique, provoqué par les dérangements lors des visites, ait pu affecter les résultats. En effet, les cris poussés par cette espèce peuvent attirer certains prédateurs (Gottfried et al. 1985; McLean et al. 1986). Or la prédation a été plutôt limitée et la proportion des nids affectés ne diffère pas entre les groupes traité et témoin.

Il y a lieu de croire que si les femelles ont été affectées par le diazinon, les jeunes l'ont été aussi (Robinson et al. 1988), surtout lorsque les femelles quittaient le nid lors de l'arrosage. La petite quantité d'AChE dans le corps des oisillons et le faible poids

de ceux-ci les rendent plus sensibles aux empoisonnements d'organophosphorés (Grue et al. 1981). Par contre, la récupération pourrait être plus rapide que chez les adultes à cause de la production continue d'enzymes durant la croissance (Grue et al 1981; Stromborg et al 1988). Ces derniers auteurs ont démontré que des oisillons étourneaux fortement sous l'effet d'un organophosphoré (inhibition de l'AChE au niveau du cerveau de 46%) n'avaient pas un poids avant l'envol et un comportement après l'envol différents de ceux du groupe témoin.

Les concentrations et quantités utilisées pour le diazinon (1,94 lbs de matière active à l'acre (m.a./acre) sont inférieures à celles documentées dans la littérature (4-6 lbs m.a./acre) pour des milieux similaires et ayant causé des mortalités d'oiseaux, des symptômes d'intoxication sublétale et de forts taux d'inhibition de l'AChE (Stone et Knoch, 1982; Anderson et Glowa, 1985; Stone, 1979; Schobert 19??; Stone et Gradoni 1985a, 1987). Elles surpassent de beaucoup celles utilisées par McEwen et al. (1972) en milieu agricole qui, avec des concentrations faibles (5-8 onces m.a./acre), ont causé la mort de plusieurs individus de différentes espèces (Sturnella neglecta, Calcarius ornatus, Eremophilia alpestris, Calamospiza melanocorys).

Selon Zinkl et al. (1984), il semblerait que les effets d'une intoxication se manifesteraient surtout chez les espèces dont le territoire et l'aire vitale sont confinés à l'intérieur d'une zone traitée. L'absence d'effets significatifs dans la présente étude pourrait être due à l'espace très restreint arrosé et à la grande mobilité du merle. Ceci pourrait expliquer pourquoi, McEwen et al. (1972) ont obtenu une mortalité importante pour des concentrations de diazinon inférieures appliquées sur de grandes surfaces.

Un impact est suspecté à cause des résultats obtenus concernant l'inhibition de l'AChE dans le plasma sanguin ainsi que la réduction de la productivité et du nombre de voyages de nourrissage des adultes au nid. Un effectif plus grand ainsi qu'un protocole permettant de colliger des données plus concluantes sur les taux d'inhibition de l'AChE dans le cerveau et d'établir le succès de reproduction permettraient de mieux déterminer si le diazinon a un impact réel sur le Merle d'Amérique. L'étude de l'exposition des jeunes en fonction du comportement des femelles au nid pendant et après l'épandage pourrait indiquer si la baisse de productivité résulte de la pulvérisation de l'insecticide sur les jeunes.

6.2 L'acéphate

Comme pour le diazinon, aucune mortalité d'adulte ou de juvénile Merle d'Amérique n'a été enregistrée suite aux arrosages d'acéphate sur les conifères et ce malgré que les concentrations et quantités utilisées pour l'acéphate (2,4 lbs m.a./acre) aient été supérieures à celles constatées dans la littérature (0,5-2 lbs m.a./acre) (Peakall et Bart, 1983; Richmond et al. 1979; Bart, 1979; Zinkl et al. 1984).

Peakall et Bart (1983) estiment qu'à partir de 0,5 lbs m.a./acre des effets mesurables peuvent se faire sentir. Malgré un effectif réduit, il semble que la formulation d'acéphate utilisée aurait eut un effet sur l'activité de l'acétylcholinestérase dans le plasma sanguin. Le pourcentage d'inhibition est plus faible que pour le diazinon et contrairement à ce qui a été observé chez ce dernier, il n'y a aucune indication d'effet sur le comportement ou la productivité.

En ce qui concerne les comportements des adultes au nid, il semblerait qu'il y ait un effet tout à fait contraire à celui attendu par rapport au groupe témoin. Il est possible que les effets soient nuls et que les résultats du groupe témoin et ceux du groupe traité à l'acéphate soient l'expression d'une variance des comportements.

Il semble que même si l'acéphate a été appliqué à des concentrations supérieures à celles susceptibles d'engendrer des effets, le merle n'a pas été affecté de façon apparente.

7.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ces traitements ponctuels, à la fois dans le temps et dans l'espace, réalisés aux doses prescrites ne semblent pas avoir d'effets létaux sur le Merle d'Amérique malgré une inhibition de l'AChE dans le plasma sanguin. Par ailleurs, dans le cas du groupe traité au diazinon, la tendance observée d'une réduction du nombre de voyages de nourrissage et de la productivité mérite d'être prise en considération. L'étude a été faite sur des feuillus qui ne sont pas normalement arrosés au diazinon. Les épandages de ce produit se font généralement sur des arbres fruitiers. L'utilisation présente du diazinon sur les arbres ne semble donc pas une menace pour les merles dont la première nichée, qui est la plus importante, se fait d'abord dans des conifères et rarement dans des arbres fruitiers. Il nous est cependant difficile de prévoir les impacts d'une utilisation excessive par des particuliers qui souvent peuvent forcer la dose.

Étant donné la toxicité du diazinon sur l'avifaune, nous suggérons de poursuivre l'étude des effets sur l'inhibition de l'AChE chez la femelle et les jeunes, les voyages de nourrissages et la productivité ainsi que d'entreprendre une étude des impacts lorsqu'il est utilisé sur les pelouses. En effet, à ce niveau les merles sont plus susceptibles d'être exposés par l'insecticide. Les effets de l'eau sur les pelouses (pluie ou arrosage mécanique) peuvent accentuer le processus de contamination en attirant les vers, donc les merles, ou en formant des flaques où se concentre le produit.

8.0 BIBLIOGRAPHIE

Anderson, J. F., W. Glowa. 1985. Diazinon Poisonning of Brown-headed Cowbirds. J. Field Ornithol. 56:407-409.

Anon. 1986. Pesticide Fact Sheet, Diazinon. U. S. Environmental Protection Agency. 5 pp.

Anon. 1986a. Diazinon: Intent to Cancel Registrations of Pesticide Products Contaning Diazinon; Denial of Applications for Registration of Pesticide Products Containing Diazinon; Conclusion of Special Review. U. S. Environmental Protection Agency. 77 pp.

Bart, J. 1979. Effects of Acephate and Sevin on Forest Birds. J. Wildl. Manage. 43(2):544-549.

Bartsch, E. 1974. Diazinon. II. Residues in Plants, Soil, and Water. Residue Reviews. 51:37-68.

Bent, A. C. 1964. Life histories of North American Thrushes, Kinglets, and their allies. Dover Publications, New York. 452 pages.

Brackbill, H. 1947. Period of dependency in the American Robin. Wilson Bull. 59(2):114-115.

Brunet, R. et A. Cyr. 1990. Étude de l'effet du chlorpyrifos sur les niveaux d'acéthycholinestérase et la mortalité chez le Merle d'Amérique (Turdus migratorius) en captivité. Grebe Inc. pour Environnement Canada et Dow chemical Inc. Rapport technique. Service Canadien de la Faune. Région du Québec. 16 p.

Busby, D. G., P. A. Pearce et N. R. Garrity. 1981. Brain Cholinesterase Response in Songbirds Exposed to Experimental Fenitrothion Spraying in New Brunswick, Canada. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 26:401-406.

Chukwudebe, A. C., M. A. Hussain, P. C. Oloffs. 1984. Hydrolytic and Metabolic Products of Acephate in Water and Mouse Liver. J. Environ. Sci. Health. B19(6):501-522.

Cossette, D., I. Giroux, R. Poulin et coll. 1988. Recueil des principaux pesticides en usage au Québec. Volume 2-Fichier des matières actives. Sage Ltée.

Custer, T. W. et C. A. Mitchell. 1987. Exposure to Insecticides of Brushland Wildlife Within the Lower Rio Grande Valley, Texas, USA. Environm. Pollution 45:207-220.

DeWeese, L. R., L. C. McEwen, L. A. Settimi et R. D. Deblinger. 1983. Effects on Birds of Fenthion Aerial Application for Mosquito Control. J. Econ. Entomol. 76:906-911.

Dougherty, E. 1962. Fly Sprays Can Poison Ducks. Farm Research. Page 14.

Eisler, R. 1986. Diazinon Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review. Fish and Wildlife Service. U. S. Department of the Interior. 28 pp.

Ellman, G. L., K. D. Courtney, V. Andres Jr, R. M. Featherstone. 1961. A New and Rapid Colorimetric Determination of Acetylcholinesterase Activity. Biomedical Pharmacology. 7:88-95.

Forsyth, D. J. 1977. Toxicities of Selected Forest Spray Chemicals. Toxic Chemicals Division, Canadian Wildlife Service. 1 pp.

Gottfried, B. Andrew, K. et M. Haug. 1985. Breeding Robins and nest predator: effect of predator type and defense strategy on initial vocalization patterns. Wison Bull. 97 (2):183-190.

Grue, C. E., J. Fleming. 1983. Assessing Hazards of Organophosphate Pesticides to Wildlife. Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conference. 48:200-220.

Grue, C. E., G. V. Powell, N.L. Gladson. 1981. Brain Cholinesterase (ChE) Activity in Nestling Starlings: Implications for Monitoring Exposure of Nestling Songbirds to ChE Inhibitors. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 26:544-547.

Grue, C. E., G. V. Powell, M. J. McChesney. 1982. Care of Nestlings by Wild Female Starlings Exposed to an Organophosphate Pesticide. J. of Applied Ecol. 19:327-335.

Hill, E. F., W. J. Fleming. 1982. Acetylcholinesterase Poisoning of Birds: Field Monitoring and Diagnosis of Acute Poisoning. Environ. Toxicol. and Chemistry. 1:27-38.

Howard, D. 1967. Variation in the breeding season and clutch-size of the Robin in the Northeastern United States and the Maritimes Provinces of Canada. Wilson Bull. 79(4):432-440.

Howe, R. 1898. Breeding habits of the American Robin (Merula migratoria) in Eastern Massachusetts. Auk 15:162-167.

Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecology 54:187-211.

Hussain, M. A., R. B. Mohamad, P. C. Oloffs. 1985. Studies on the Toxicity, Metabolism, and Anticholinesterase Properties of Acephate and Methamidophos. J. Environ. Sci. Health. B20(1):129-147.

James, F. et H. Shugart. 1974. The phenology of the nesting season of the American Robin (Turdus migratorius) in the United States. Condor 76:159-168.

Kemper, L. et M. Taylor. 1981. Seasonal reproductive changes in the American Robin (Turdus migratorius L.) of the Pacific Northwest. Can. J. of Zool. 59:212-217.

Klimstra, W. et W. Stieglitz. 1957. Notes on reproductive activities of robins in Iowa and Illinois. Wilson Bull. 69(4):333-337.

Knupp, D., R. Owen et J. Dimond. 1977. Reproductive biology of American Robins in northern Maine. The Auk. 94(1):80-85.

Kundiev, Y.I., L.G. Aleksandrova et N.G. Goncharenko. 1982. Toxicokinetics of Pesticides due to Different Routes of Entry into the Organism.

Lichtenstein, P. E., K. R. Schultz. 1970. Volatilization of Insecticides from Various Substrates. J. Agr. Food. Chem. 18(5):814-818.

Mayfield, H. 1961. Nesting success calculated from exposure. Wilson Bull. 73:255-261.

McEwen, L. C., C. E. Knittle, M. L. Richmond. 1972. Wildlife Effects from Grasshppoer Insecticides sprayed on short-grass range. J. Range Manage. 25(3):188-194

McLean, I., Smith, J. et K. Glenna Stewart. 1986. Mobbing behaviour, nest exposure, and breeding success in the American Robin. Behaviour 96(1-2):171-186.

Montz, W. E. Jr., R. L. Kirkpatrick. 1985. Temporal Patterns of Brain Cholinesterase Activities of White-Footed Mice (Peromyscus leucopus) Following Dosing with Diazinon or Parathion. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 14:19-24.

Murphy, S.D.. 1986. Toxic effects of Pesticides. pages 519-581 in C. D. Klaassen, M. O. Amdur, J. Doull. Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. 974 pp.

Niethammer, K. R. et T. S. Baskett. 1983. Cholinesterase Inhibition of Birds Inhabiting Wheat Fields Treated with Methyl Parathion and Toxaphene. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 12:471-475.

Peakall, D. B., J. R. Bart. 1983. Impacts of Aerial Application of Insecticides on Forest Birds. CRC Critical Reviews in Environmental Control. 13(2):117-165.

Richmond, M. L., C. J. Henny, R. L. Floyd, R. W. Mannan, D. M. Finch, L. R. DeWeese. 1979. Effects of Sevin-4-Oil, Dimilin, and Orthene on Forest Birds in Northeastern Oregon. Res. Paper PSW-148. Pacific Southwest Forest and Range Exp. Stn., Forest Service, U.S. Dep. Agric. 19 pp.

Robinson, S. C., R. J.Kendall, R. Robinson, C. J. Driver et T. E. Lacher, Jr. 1988. Effects of Agricultural Spraying of Methyl Parathion on Cholinesterase Activity and Reproductive Success in Wild Starlings (Sturnus vulgaris). Environm. Toxicol. and Chem. 7:343-349

Schantz W. 1939. A detailed study of a family of Robins. Wilson Bull. 51(3):157-169.

Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Gaétan Morin éditeur, Chicoutimi, Québec, Canada. 850 pages.

Schobert, E. E., 19??. Ingested Insecticide Poisoning in Waterfowl.

Sokal, R. et F. Rohlf. 1981. Biometry. Freeman et Co., San Francisco.

Stone, W. B. 1979. Poisonning of Wild Birds by Organophosphate and Carbamate Pesticides. New-York Fish and Game Journal. 26(1):37-47.

Stone, W. B. 1980. Bird Deaths Caused by Pesticides used on Turfgrass. New-York State Turfgrass Conf. Proc. 4:58-64

Stone, W. B., P. B. Gradoni. 1985. Wildlife Mortality Related to Use of the Pesticide Diazinon. Northeastern Environ. Science 4(1):30-38.

Stone, W. B., P. B. Gradoni. 1985a. Recent Poisonings of Wild Birds by Diazinon and Carbofuran. Northeastern Environ. Science 4(34):160-164.

Stone, W. B., P. B. Gradoni. 1987. Poisonning of Birds by Cholinesterase Inhibitor Pesticides. New-York State Departement of Environmental Conservation. 16 pp.

Stone, W. B., H. Knoch. 1982. American Brant Killed on Golf Courses by Diazinon. New-York Fish and Game Journal. 29(1):95-96.

Stromborg, K. L. 1977. Seed Treatment Pesticide Effects on Pheasant Reproduction at Sublethal Doses. J. Wildl. Manage. 41(4):632-642.

Stromborg, K. L., C. E. Grue, J. D. Nichols, G. R. Hepp, J. E. Hines et H. C. Bourne. 1988. Postfledging Survival of European Starlings Exposed as Nestlings to an Organophosphorus Insecticide. Ecology 69(3):590-601.

Sundaram, K. M. S., W. W. Hopewell. 1976. Distribution, Persistence and Translocation of Orthene in Spruce trees After Simulated Aerial Spray Application. Report CC-X-121. Chemical Control Research Institute, Canadian Forestry Service, Environment Canada. 25 pp.

Szeto, S.Y., H. R. MacCarthy, P. C. Oloffs. 1978. Residues in Douglas-Fir Needles and Forest Litter Following an Aerial Application of Acephate (Orthene). J. Environ. Sci. Health. B13(2):87-103.

Ware, G. W. 1983. Pesticides, Theory and Application. W. H. Freeman and Company. 308 pp.

Yahner, R. 1983. Site-related nesting success of Mourning doves and American robins in shelterbelts. Wilson Bull. 95(4):573-580.

Young, H. 1955. Breeding behaviour and nesting of the Eastern Robin. Ame. Midl. Naturalist. 53:329-352.

Zinkl, J.G., P. D. Mack et M. E. Mount. 1984. Brain Cholinesterase Activity and Brain and Liver Residues in Wild Birds of a Forest sprayed with Acephate. Environmental Toxicology and Chemistry. 3:79-88.

Zinkl, J. G., J. Rathert, R. Hudson. 1977. Diazinon Poisoning in Canada Wild Geese. J. Wildl. Manage. 42(2):406-408.

Zinkl, J. G., R. B. Roberts, P. J. Shea, J. Lasmanis. 1981. Toxicity of Acephate and Methamidophos to Dark-eyed Juncos. Arch. Environm. Contam. Toxicol. 10:185-192.

ANNEXE 1

CAS D'EMPOISONNEMENT AU DIAZINON RAPPORTES

Espèce (nb)	zone traitée (conc. utilisée)	Diazinon retouvé Concentration	Organe	Activité AChE Cerveau (I.U.)	Source
Canard domest. (1)	pelouse	421 ppm	contenu stomac.	1015	Stone et Gradoni, 1987
Canard domest. (7)	pelouse (5,4 lbs/acre)	13-63 ppm *	cont. canal alim.	767-1413	" "
Canard colvert canetons (3)	pelouse (5,5 lbs/acre)	61-227 ppm *	cont. gésier	624	" "
Canard colvert jeune 1 an				3314	
Bern. cravant (5)	golf (granulaire)	0.77 ppm	cont. gésier		Stone et Knoch, 1982
Bern. cravant (16)	golf (6 on./ 1000 PI²) (diaz. 25%)	5 ppm 3,2 ppm 0,12 ppm 4,3 ppm	herbe ds oesoph. cont. petit intest. cont. gésier flaque d'eau proche	8.1 mU/mg	" "
Bern. du Can. (13)	golf	20 ppm	herbe ds bouche	3,09 mU/mg	Zinkl et al., 1977
" (tém.) (7)				9,61 mU/mg	" "
" (tém.) (4)				10,05 mU/mg	" "
" (tém.) (7)				12,36 mU/mg	" "
Bern. du Can. (2)	golf	0,34 et 5,3 ppm	cont. gésiers		Stone, 1979
Bern. du Can. (2)	pelouse	30 ppm	proventricule	1072	Stone et Gradoni, 1987
" (tém.) (3)				4760	" "
Merle d'Am. (1)	pelouse	14 ppm 0.5 ppm 13 ppm 10-38 ppm	contenu gésier contenu intestin lombric échant. d'herbe	1658	Stone et Gradoni, 1985a " "
" (tém.)(1)				6721	"
" " (3)				6336	" , 1987
Vacher (3 mâles)	terrain de baseball (450 g/ 135 m²)	22,8 ppm * 34,1 ppm * 13,1 ppm * 36,0 ppm * 2-11 ppm * 3-31 ppm *	coeur gésier foie intestin sol (à 2,5 cm) champ int. sol (à 2,5 cm) champ ext.		Anderson et Glowa, 1985

Espèce (nb)	zone traitée (conc. utilisée)	Diazinon retouvé Concentration	Organe	Activité AChE Cerveau (I.U.)	Source
Vacher (3 fem.)	terrain de baseball (450 g/ 135 m²)	1,4 ppm *	coeur		Anderson et Glowa, 1985
		9,6 ppm *	gésier		
		2,0 ppm *	foie		
		4,7 ppm *	intestin		
Vacher (1 mâle)	pelouse	0,9 ppm	coeur		" "
		0,06 ppm	gésier		
		0,04 ppm	foie		
		0,04 ppm	intestin		
Vacher (1 fem.)	pelouse	0,35 ppm	coeur		" "
		0,03 ppm	gésier		
		0,11 ppm	foie		
		0,04 ppm	intestin		
Pic mineur (1)	cultures ?	46700 ppm	plumes		Stone et Gradoni, 1985a
Pigeon biset	?	3500 ppm *	contenu stomac.	964	" "
		21 ppm *	" "		

*: autres pesticides présents en quantité moindre.

xxx: moyenne.